



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA KERUSAKAN KELELAHAN PADA  
*NON-UNIFORM PILE* DARI *UL-A PLATFORM*  
AKIBAT *PILE HAMMERING* SELAMA INSTALASI**

DIYAH AYU HANNA PRATIWI  
NRP. 4312100004

Dosen Pembimbing  
Ir. Handayanu, Msc., Ph.D.  
Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Jurusan Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL PROJECT - MO 141326

**FATIGUE DAMAGE ANALYSIS OF NON-UNIFORM  
PILE OF PLATFORM UL-A DUE TO PILE  
HAMMERING DURING INSTALLATION**

DIYAH AYU HANNA PRATIWI  
NRP. 4312100004

Supervisors :

Ir. Handayanu, Msc., Ph.D.

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Department of Ocean Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016

**ANALISA KERUSAKAN KELELAHAN PADA *NON-UNIFORM*  
*PILE* DARI UL-A PLATFORM AKIBAT *PILE HAMMERING*  
SELAMA INSTALASI**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DIYAH AYU HANNA PRATIWI**  
NRP. 4312100004

Disetujui oleh :

1. Ir. Handayanu, Msc., Ph.D (Pembimbing I)

2. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D (Pembimbing II)

3. Sholihin, S.T., M.T (Penguji 1)

4. Sujantoko, S.T., M.T (Penguji 2)

SURABAYA, JULI 2016

**ANALISA KERUSAKAN KELELAHAN PADA *NON-UNIFORM PILE*  
DARI UL-A *PLATFORM* AKIBAT *PILE HAMMERING* SELAMA  
INSTALASI**

**Nama** : Diyah Ayu Hanna Pratiwi  
**NRP** : 4312100004  
**Jurusan** : Teknik Kelautan - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Handayanu, Msc., Ph.D  
Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

**ABSTRAK**

Pada umumnya untuk menginstal tiang pancang adalah dengan cara *driving* dengan *impact hammer*. Untuk biaya yang efektif umumnya untuk menginstal tiang pancang digunakan tiang pancang yang terbuat dari baja yang memiliki kekuatan tinggi yang mengakibatkan ketebalan tiang pancang lebih rendah, peningkatan *driving stress* yang diikuti dengan efisiensi *hammer* yang lebih baik, dan waktu saat proses pemancangan berkurang. Dengan adanya peningkatan *driving stress*, kerusakan kelelahan pada tiang perlu diperhatikan. Penelitian ini membandingkan kerusakan kelelahan pada tiang pancang saat proses pemancangan pada kondisi *continuous*, dan *restart*. Dimana pemodelan tiang pancang, tanah, dan *hammer* dilakukan dengan menggunakan GRL-WEAP 2005. Kemudian untuk menghitung kerusakan kelelahan pada tiang pancang selama pemancangan dengan menggunakan aturan Palmgren-Miner. Dari hasil pemodelan yang menggunakan dua jenis *hammer* didapatkan *blow-count* terbesar pada kondisi *restart (upper bound)* masing-masing sebesar 227.7 *blow/m* dan 131.9 *blow/m*. Untuk *driving stress* terbesar pada kondisi *restart (upper bound)* masing-masing sebesar 210.580 Mpa dan 248.309 Mpa. Sedangkan untuk nilai total kerusakan kelelahan terbesar pada kondisi *restart (upper bound)* masing-masing 0.31 dan 0.27 pada kurva F3.

**Kata Kunci** : *Impact Hammer*, Kerusakan Kelelahan, Palmgren- Miner, *Pile Driveability*.

# **FATIGUE DAMAGE ANALYSIS OF NON-UNIFORM PILE OF PLATFORM UL-A DUE TO PILE HAMMERING DURING INSTALLATION**

**Name : Diyah Ayu Hanna Pratiwi**  
**NRP : 4312100004**  
**Department : Ocean Engineering - ITS**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Handayanu, Msc., Ph.D**  
**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

## **ABSTRACT**

Generally, to install the pile is by driving method with impact hammer. For cost-effective to install piles generally used piles that made of steel which has high strength to get lower pile thickness, increasing in driving stress followed by better efficiency of hammer, and the time when the process of erection is reduced. With the increased driving stress, fatigue damage on the pile needs to be considered. This study compares the fatigue damage at the pile during the process of erection on continuous conditions, and restart. Where modeling of piles, soil, and hammer was done by using GRL-WEAP 2005. Then to calculate fatigue damage at the pile during erection by using the Palmgren-Miner rule. From the modeling results were obtained using two types of blow-count hammer on a restart condition (upper bound) respectively by 227.7 blow / m and 131.9 blow / m. The biggest stress for driving restart condition (upper bound) respectively 210.580 and 248.309 Mpa Mpa. As for the largest total value of fatigue damage on restart condition (upper bound) respectively 0.31 and 0.27 on a curve F3.

**Keyword :** Impact Hammer, Fatigue Damage, Palmgren Miner, Pile Driveability.

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Assalamu‘alaikum wr. wb.

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas ridho dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Kerusakan Kelelahan pada *Non-Uniform Pile* dari UL-A Platform Akibat *Pile Hammering* Selama Instalasi”.

Maksud dan tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan program Studi Sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Surabaya, Juli 2016

Diyah Ayu Hanna Pratiwi

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan, dukungan, dan do'a dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang selalu menyayangi, mendo'akan, dan memberikan dukungan secara moral maupun material kepada penulis agar penulis mampu menyelesaikan perkuliahan tahap sarjana serta Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Ir. Handayanu, Msc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 1 penulis yang berkenan meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, memberikan masukan serta ilmu yang berguna dalam penyelesaian masa studi dan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing 2 penulis yang berkenan meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, memberikan masukan serta ilmu yang berguna dalam penyelesaian masa studi dan Tugas Akhir ini.
4. Keluarga Besar Angkatan 2012 Teknik Kelautan FTK-ITS (VARUNA) atas bantuan serta kebersamaan dalam segala susah dan senang yang telah dilalui bersama.
5. Ketua dan Sektretaris Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS, serta para dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS.
6. Seluruh warga Teknik Kelautan FTK-ITS, dan seluruh pihak yang telah membantu.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>COVER .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Struktur Penelitian .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Dasar Teori .....	8
2.2.1 Tiang Pancang Baja .....	8
2.2.2 Metode Instalasi Tiang Pancang.....	9
2.2.3 Alat Pancang Tiang .....	11
2.2.4 Analisa <i>Pile Driveability</i> .....	13
2.2.5 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang .....	13
2.2.6 <i>End Bearing</i> .....	14
2.2.7 <i>Skin Friction</i> .....	15



2.2.8	<i>Soil Resistance to Driving</i> .....	16
2.2.9	Persamaan Diferensial Oleh Smith.....	16
2.2.10	Model Persamaan Gelombang.....	20
2.2.11	<i>Stress Selama Driving</i> .....	20
2.2.12	<i>Pile Driving Fatigue</i> .....	20
2.2.13	<i>Stress Concentration Factor</i> .....	21
2.2.14	Kurva S-N.....	25
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>29</b>
3.1	Diagram Alir Pengerjaan .....	29
3.2	Prosedur Penelitian .....	30
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>35</b>
4.1	Lokasi Studi .....	35
4.2	Data <i>Hammer</i> .....	35
4.3	Data Tanah .....	36
4.4	Data Tiang Pancang .....	36
4.5	Data <i>Quake</i> dan <i>Damping</i> .....	36
4.6	Perhitungan <i>Soil Resistance to Driving</i> .....	36
4.7	Input Pemodelan Pada GRL-WEAP 2005 .....	40
4.7.1	Parameter Tiang Pancang .....	40
4.7.2	Parameter Reaksi Tanah .....	41
4.7.3	Parameter Data <i>Hammer</i> .....	42
4.7.4	<i>Driving System</i> .....	43
4.8	Hasil Pemodelan .....	43
4.8.1	Model GRL-WEAP .....	43
4.8.2	<i>Blow-count</i> .....	44
4.8.3	<i>Driving Stress</i> .....	46
4.9	Analisis Kerusakan Kelelahan Selama Pemancangan .....	47
4.9.1	Perhitungan <i>Stress Concentration Factor</i> .....	48
4.9.2	Pemilihan Kurva S-N .....	48

4.5.3 Perhitungan Kerusakan Kelelahan Selama Pemancangan.....	48
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	53
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi <i>Field UL-A Platform</i> .....	3
Gambar 2.1 Metode <i>Jacking</i> .....	9
Gambar 2.2 Metode <i>Impact Hammer</i> .....	10
Gambar 2.3 Metode <i>Vibratory Driving</i> .....	11
Gambar 2.4 Skema Pemukul Tiang .....	12
Gambar 2.5 Tiang Pancang Ditinjau dari Daya Dukung Ujung .....	14
Gambar 2.6 Tiang Pancang Ditinjau dari Daya Dukung Gesekan.....	15
Gambar 2.7 Pemodelan Tiang Pancang .....	17
Gambar 2.8 Bentuk Melintang <i>Butt Weld</i> .....	21
Gambar 2.9 Geometri Konsentrasi Tegangan Lokal Pada Tubular <i>Butt Welds</i> ....	22
Gambar 2.10 Transisi Ketebalan Dibagian Luar Tubular <i>Butt Weld</i> .....	23
Gambar 2.11 Perbandingan Kombinasi Untuk Lasan Tubular .....	24
Gambar 2.12 Kurva S-N Dari DNV RP C-203.....	25
Gambar 2.13 Jenis Sambungan Lasan Pada Kurva S-N .....	27
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir .....	29
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir (lanjutan).....	30
Gambar 4.1 Lokasi <i>Field UL-A Platform</i> .....	35
Gambar 4.2 <i>Soil Resistance to Driving</i> vs Kedalaman .....	40
Gambar 4.3 Model GRL-WEAP .....	44
Gambar 4.4 Grafik <i>Blow-count</i> vs <i>Depth</i> IHC S-90 .....	45
Gambar 4.5 Grafik <i>Blow-count</i> vs <i>Depth</i> IHC S-150 .....	46

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tegangan <i>Pile Driving</i> yang Diiijinkan .....	20
Tabel 2.2 Nilai log ( $\bar{a}$ ), k dan m Sesuai DNV RP-C203 .....	26
Tabel 3.1 Data <i>Hammer</i> .....	30
Tabel 3.2 Data Tanah .....	31
Tabel 3.3 Data Tiang Pancang .....	32
Tabel 3.4 Data Parameter <i>Quake</i> dan <i>Damping</i> .....	32
Tabel 4.1 Nilai <i>End Bearing</i> Kondisi <i>Plugged</i> dan <i>Unplugged</i> .....	37
Tabel 4.2 Nilai <i>Skin Friction</i> .....	38
Tabel 4.3 Nilai <i>Soil Resistance to Driving</i> .....	39
Tabel 4.4 Input Parameter Tiang Pancang .....	41
Tabel 4.5 Input Reaksi Tanah .....	41
Tabel 4.5 Input Reaksi Tanah (lanjutan) .....	42
Tabel 4.6 <i>System Driving</i> .....	43
Tabel 4.7 <i>Blow-count</i> .....	44
Tabel 4.8 <i>Driving Stress</i> Terbesar Untuk Kondisi <i>Continuous</i> .....	46
Tabel 4.9 <i>Driving Stress</i> Terbesar Untuk Kondisi <i>Restart (Lower Bound)</i> .....	47
Tabel 4.10 <i>Driving Stress</i> Terbesar Untuk Kondisi <i>Restart (Upper Bound)</i> .....	47
Tabel 4.11 Total Kerusakan Kelelahan Dengan IHC S-90 .....	49
Tabel 4.12 Total Kerusakan Kelelahan Dengan IHC S-150 .....	49

## **DAFTAR LAMPIRAN**

**LAMPIRAN A** DATA TANAH

**LAMPIRAN B** DATA *HAMMER*

**LAMPIRAN C** *DRAWING*

**LAMPIRAN D** *OUTPUT* GRL-WEAP

**LAMPIRAN E** HASIL PERHITUNGAN KERUSAKAN KELELAHAN  
SELAMA PEMANCANGAN

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tiang pancang merupakan elemen kolom pada sebuah pondasi yang mempunyai fungsi untuk menyalurkan beban dari struktur atas melewati tanah lunak dan air kedalam pendukung tanah yang keras yang terletak cukup dalam.(Thomlinson,1994). Semua konstruksi rekayasa yang bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu pondasi. Pondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. (Joseph E. Bowles,1997).

Struktur *jacket* baja biasanya didukung oleh sistem pondasi yang terdiri dari *pile* baja tubular. Cara umum untuk menginstal tiang pancang adalah dengan cara *driving* dengan *impact hammer*. Metode utama untuk memasang *pile driving* lepas pantai juga dijelaskan oleh Toolan dan Fox (1977). *Pile driving* menghasilkan getaran yang dapat memiliki pengaruh yang signifikan pada bangunan yang berdekatan. Tujuan analisis ini adalah agar tiang pancang dapat dipenetrasi kekedalaman yang diinginkan tanpa *overstress* pada tiang pancang pada saat pemancangan dan tanpa refusal. Maksud refusal disini adalah penolakan oleh tiang pancang karena energi *hammer* tidak cukup untuk mendorong tiang pancang lebih dalam lagi.

Tiang pancang biasanya dipancang pada penetrasi yang diinginkan dengan *impact hammer* yang menggunakan kekuatan *steam*, *diesel fuel*, dan *hydraulic* sebagai sumber energi. Ketebalan dinding tiang pancang harus mampu menahan beban aksial dan lateral serta tegangan selama pemancangan. Untuk memprediksi tegangan selama pemancangan biasanya menggunakan prinsip satu-dimensi transmisi gelombang tegangan elastis dengan memilih parameter yang mengatur perilaku tanah, tiang pancang, *cushions*, *capblock* dan *hammer*.(American Petroleum Institute Recommended Practice 2A-WSD, 2000).

Untuk biaya yang efektif umumnya untuk menginstal tiang pancang digunakan tiang pancang yang terbuat dari baja yang memiliki kekuatan tinggi yang mengakibatkan ketebalan tiang pancang lebih rendah, peningkatan *driving stress* yang diikuti dengan efisiensi *hammer* yang lebih baik, dan waktu saat proses pemancangan berkurang. Dengan adanya peningkatan *driving stress*, kerusakan kelelahan pada tiang perlu diperhatikan. Hasil analisa kerusakan kelelahan pada tiang pancang mengakibatkan berkurangnya umur kelelahan pada kondisi *in-place*.

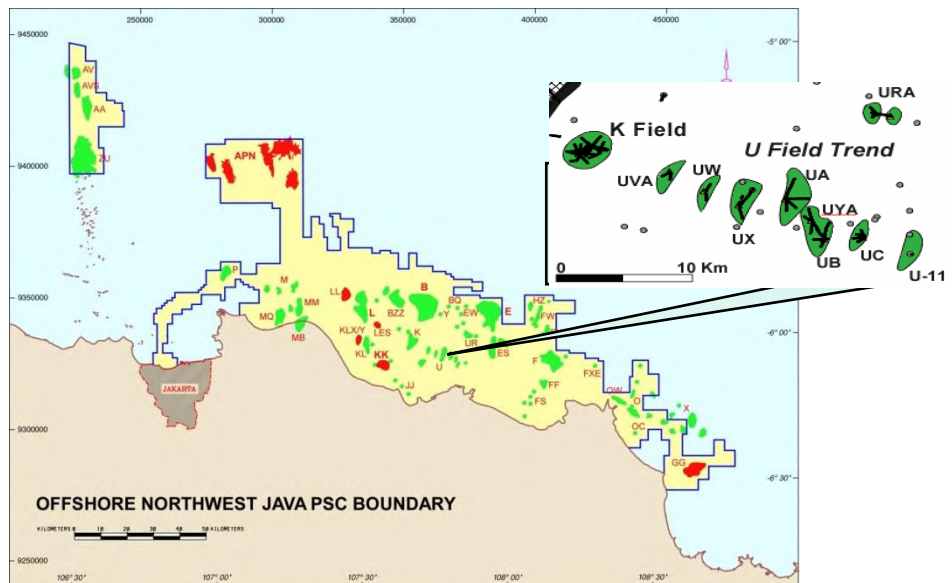
Dikarenakan adanya *impact hammer* juga secara terus menerus tiang pancang bisa mengalami kelelahan (*fatigue*) yang mengakibatkan kerusakan pada tiang pancang meskipun *impact*-nya sedikit. Evaluasi kerusakan kelelahan pada tiang pancang bergantung pada berbagai parameter, yang meliputi; stres, jumlah pukulan, SCF (*Stress Concentration Factor*), dan kurva S-N. Hal ini menunjukkan bagaimana kerusakan kelelahan bergantung pada pilihan dari nilai-nilai yang digunakan untuk SCF dan kurva S-N dan juga penerapan stres oleh *hammer*. (Jean Chung, et al, 2013).

Obyek studi yang digunakan adalah UL-A *tripod platform*, untuk dipasang di Ardjuna Field, barat laut dari Laut Jawa. Koordinat *platform* adalah *latitude* :  $6^{\circ} 5' 39.44''$  S, dan *longitude* :  $107^{\circ} 42' 29.07''$  E. UL-A *platform* terletak dalam bidang *uniform* sekitar 3,8 mil barat laut dari UWA *platform* yang ada dan 8,5 mil barat dari UPRO *platform*. Tiang pancang pada UL-A *platform* didorong melalui kaki *jacket*. UL-A *platform* didesain untuk tiga konfigurasi tiang pancang dengan diameter luar 30", target kedalaman penetrasi 175 ft untuk tiang pancang A1 dan 145 ft untuk tiang pancang B2/B3. Kaki A1 merupakan tiang pancang vertikal dan kaki B2 dan B3 mempunyai batter 1:6 dengan ketebalan dinding yang bervariasi. Konduktor didorong untuk target penetrasi 150 ft. Data tanah UL-A *platform* sesuai dari Laporan Investigasi Geoteknik untuk *Assessment Foundation* di lokasi UL-A. Untuk *hammer*, IHC S-90 dan IHC S-150 telah dipertimbangkan dalam analisis.

Pada tugas akhir ini akan memprediksi kerusakan kelelahan tiang pancang dari UL-A tripod platform yang disebabkan oleh *pile hammering* selama proses instalasi. Output dari GRL-WEAP, yaitu jumlah pukulan *hammer* dan *stress*

*range* digunakan untuk perhitungan kerusakan kelelahan driving pada tiang pancang, aturan Palmreg-Miner diterapkan, dan selanjutnya bisa digunakan untuk memperoleh total kerusakan kelelahan akibat *driving*.

Persamaan gelombang digunakan untuk mengetahui maksimum energi yang ditransfer *hammer*, tegangan saat pemancangan, dan kapasitas pondasi tiang. Program GRL-WEAP digunakan dalam studi ini. Gambar di bawah menunjukkan lokasi *field* UL -A:



**Gambar 1.1** Lokasi Field UL-A platform

(Sumber : *Geotechnical investigation report for UL-A location*)

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Berapa *blow-count* (jumlah pukulan), *driving stress* pada tiang pancang?
2. Berapa total kerusakan kelelahan pada tiang pancang selama pemancangan ?

## 1.3 Tujuan

Penelitian ini diharapkan mampu memenuhi tujuan-tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan *blow-count* (jumlah pukulan), *driving stress* pada tiang pancang.



2. Untuk mendapatkan total kerusakan pada tiang pancang selama pemancangan.

#### **1.4 Manfaat**

Berikut manfaat penelitian, yaitu memberi pemahaman tentang analisa kerusakan kelelahan pada tiang pancang dari UL-A *tripod platform* akibat *pile hammering* selama Instalasi. Walaupun pukulan *hammer* yang mengenai tiang pancang secara terus-menerus memiliki dampak sedikit, tetapi evaluasi kelelahan tiang pancang perlu diperhatikan untuk menghindari kerusakan kelelahan pada tiang pancang saat proses pemancangan. Karena kerusakan kelelahan pada tiang pancang saat proses pemancangan bisa mengurangi umur kelelahan pada kondisi *in-place*.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Supaya penelitian yang dilakukan tidak terlalu melebar, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Analisa stuktur dilakukan pada bagian tiang pancang, yaitu tiang pancang A1 yang terdapat tiga segment dan dua sambungan tiang pancang.
2. Data tanah yang digunakan adalah data hasil pengukuran pada lokasi “UL-A Platform”.
3. Data *hammer* yang digunakan adalah jenis hidraulik *hammer*, yaitu IHC S-90 dan IHC S-150.
4. Analisa tiang pancang dilakukan dengan metode dinamis yang menggunakan *wave equation analysis* (Smith,1960).
5. Pemodean struktur tiang pancang dilakukan dengan menggunakan *software* GRL-WEAP 2005.

#### **1.6 Struktur Penelitian**

Laporan penelitian ini akan disusun menjadi lima bab yang akan dijelaskan secara singkat sebagai berikut.

#### **Bab 1. Pendahuluan**

Menjelaskan latar belakang penelitian serta konteks penelitian diikuti dengan permasalahan dan tujuan penelitian. Manfaat yang diperoleh dari

penelitian ini juga disajikan dalam bab ini. Selain itu, batasan masalah juga dijelaskan untuk membatasi ruang lingkup masalah yang terlalu luas sehingga penelitian lebih bisa fokus untuk dilakukan.

## **Bab 2. Dasar Teori dan Kajian Pustaka**

Menyajikan *review* dari studi yang ada kaitannya dengan topik penelitian. Bab ini dimulai dengan tiang pancang baja, metode instalasi tiang pancang, alat tiang pancang, analisa *pile driveability*, kapasitas daya dukung tiang, *end bearing*, *skin friction*, *soil resistance to driving*, persamaan diferensial oleh Smith, model persamaan gelombang, model persamaan gelombang stres selama *driving*, *pile driving fatigue*, *stress concentration factor* dan kurva S-N.

## **Bab 3. Metodologi Penelitian**

Pada bab ini, akan menyajikan analisis model dan struktur penelitian. Referensi ini akan menjadi dasar untuk mengembangkan kerangka penelitian analisa kerusakan kelelahan dari UL-A *platform* pada *non-uniform pile* selama proses instalasi.

## **Bab 4. Hasil dan Pembahasan**

Dalam bab ini, akan dijelaskan tentang analisis hasil penelitian dan pembahasan. Bab ini berisikan analisis dengan menggunakan analisis *pile driveability*, analisis kerusakan kelelahan menggunakan aturan Palmgren Miner.

## **Bab 5. Kesimpulan dan Saran**

Hasil kesimpulan dari penelitian ini secara keseluruhan yang dilakukan serta langkah-langkah lebih lanjut yang diusulkan untuk mencapai topik penelitian yang benar-benar sebagai masukan untuk kedepannya.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

*Pile driving* menghasilkan getaran yang dapat memiliki pengaruh yang signifikan pada bangunan yang berdekatan. *Pile driveability* mengacu pada kemampuan dari tiang pancang yang aman tanpa kerusakan dan ekonomis sehingga dapat mendukung *bearing capacity* yang dibutuhkan dan meminimalkan kedalaman penetrasi (Hussein, 2006). Tujuan analisis ini adalah agar tiang pancang dapat dipenetrasi ke kedalaman yang diinginkan tanpa *overstress* pada tiang pancang pada saat pemancangan dan tanpa refusal. Maksud refusal disini adalah penolakan oleh tiang pancang karena energi *hammer* tidak cukup untuk mendorong tiang pancang lebih dalam lagi.

Tiang pancang biasanya dipancang pada penetrasi yang diinginkan dengan *impact hammer* yang menggunakan kekuatan *steam*, *diesel fuel*, dan *hydraulic* sebagai sumber energi. Ketebalan dinding tiang pancang harus mampu menahan beban aksial dan lateral serta tegangan selama pemancangan. Untuk memprediksi tegangan selama pemancangan biasanya menggunakan prinsip satu-dimensi transmisi gelombang tegangan elastis dengan memilih parameter yang mengatur perilaku tanah, tiang pancang, *cushions*, *capblock* dan *hammer*. (*American Petroleum Institute Recommended Practice 2A-WSD, 2000*). Analisa *pile driving* biasanya menggunakan persamaan gelombang yang dikembangkan oleh Smith, dan analisa ini menggunakan program GRL-WEAP. (Hussein et al, 1988).

Banyak masalah yang terjadi dalam setiap bangunan lepas pantai. Baik di bagian struktur atas maupun struktur bawahnya. Salah satunya yakni kelelahan struktur. Kelelahan struktur yang dimaksud merupakan salah satu jenis kerusakan atau kegagalan yang di akibatkan oleh beban berulang yang bisa berakibatkegagalan atau keruntuhan struktur tersebut. Pondasi yang merupakan struktur bawah dari suatu konstruksi pun bisa mengalami masalah kelelahanstruktur akibat menerima beban berulang yang ada, meskipun beban tersebut relatif kecil. Dan hal tersebut perlu untuk dievaluasi.(Nelwan et al,2015)

Beberapa dekade yang lalu ukuran tiang pancang yang lebih tebal, *stress yield* yang lebih rendah, serta *hammer* yang kurang efisien menyebabkan proses instalasi pada tiang pancang lebih lama dan biaya yang dikeluarkan lebih besar. Namun sekarang untuk biaya yang efektif umumnya untuk menginstal tiang pancang digunakan tiang pancang yang terbuat dari baja yang memiliki kekuatan tinggi yang mengakibatkan ketebalan tiang pancang lebih rendah, peningkatan *driving stress* yang diikuti dengan efisiensi *hammer* yang lebih baik untuk mengurangi waktu instalasi. Dengan adanya peningkatan *driving stress*, kerusakan kelelahan pada tiang perlu diperhatikan.

Evaluasi kerusakan pada tiang pancang tergantung pada berbagai parameter yang meliputi, penerapan stres, jumlah pukulan, SCF (*Stress Concentration Factor*), dan kurva S-N. Hal ini menunjukkan bagaimana kerusakan kelelahan tergantung pada pilihan dari nilai-nilai yang digunakan untuk SCF dan kurva S-N dan juga penerapan stres oleh *hammer*, dan pada akhirnya dampak dari parameter ini berpengaruh pada sisa umur kelelahan untuk kondisi analisa *in-place*. (Jean Chunget al, 2013).

Pada tahun 1999, Rasmussen et al melakukan penelitian tentang kerusakan *fatigue* saat *pile driving*. Tiang pancang beton didorong oleh *hammer* hidrolik. Beberapa tiang pancang mendapat kerusakan *fatigue* selama pemancangan. Kerusakan *fatigue* diakibatkan karena tiang pancang didorong dengan terlalu banyak energi, dan ketinggian jatuh *hammer* terlalu tinggi dibandingkan dengan jumlah total pukulan. Pada penelitian ini menyimpulkan bahwa perlu untuk mengurangi ketinggian jatuh *hammer* dengan meningkatkan jumlah pukulan, atau mengurangi ketinggian jatuh *hammer* dengan meningkatkan *driving resistance*.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Tiang Pancang Baja**

Tiang pancang baja memiliki keuntungan, yaitu kuat, ringan, dan mampu membawa beban tekan tinggi ketika tiang pancang didorong sampai tingkat tanah keras. Tiang pancang baja juga memiliki ketahanan yang baik dan resistensi yang tinggi terhadap *buckling* dan *bending force*. (Thomlinson, 1994).

Jenis – jenis tiang pancang meliputi bentuk H dan *pipepile* (tiang pancang pipa), tiang pancang H adalah tiang pancang yang memiliki perpindahan volume

yang kecil karena daerah penampangnya tidak terlalu besar. Sedangkan tiang pancang pipa adalah tiang pancang yang memiliki ujung terbuka dan ujung tertutup. Tiang pancang pipa seringkali diisi dengan beton setelah pemancangan, walaupun dalam beberapa hal pengisian ini tidak perlu. (Bowles, 1988).

Kapasitas struktural yang diijinkan untuk pile baja adalah :

$$Q_{all} = A_s f_s \quad (2.1)$$

Dimana,

$A_s$  = Luas penampang baja

$F_s$  = Tegangan ijin baja ( $\approx 0.33-0.5f_y$ )

Pile baja dapat dikenakan korosi dan biasanya memiliki panjang sekitar 15 m sampai 60 m serta bisa menopang beban sekitar 300 kN sampai 1200 kN.

### 2.2.2 Metode Instalasi Tiang Pancang

Metode pemasangan tiang pancang dapat diklasifikasikan kedalam metode penetrasi statis atau penetrasi dinamis. Teknik pemasangan yang sering digunakan pada perpindahan tiang pancang adalah :

#### a. *Jacking*

Metode tiang pancang *jacking* atau sering disebut dengan *press-in pilling* merupakan teknik statis untuk pemasangan tiang pancang. Tiang pancang didorong kedalam tanah dengan menggunakan ram hidrolik. Metode tiang pancang *jacking* memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan *pile driving* dinamis, misalnya pengurangan pada *noise* dan vibrasi selama proses *driving*. Berikut pada Gambar 2.1 adalah gambar dari metode *jacking* :



**Gambar 2.1** Metode *jacking*

*b. Impact Driving*

*Impact driving* merupakan teknik pemasangan tiang pancang secara dinamis, tergantung dengan penggunaan *hammer*. Salah satu ciri penting dari *impact driving* adalah pembentukan gelombang kejut yang menyebar di sepanjang tiang pancang. Pengaruh pemasangan tiang pancang dianalisis dengan analisis *driveability*. Berikut Gambar 2.2 merupakan gambar metode *impact driving* :



**Gambar 2.2** Metode *impact hammer*

*c. Vibratory Driving*

Metode pemasangan tiang pancang *vibratory driving* adalah pemasangan tiang pancang yang menggunakan *vibratory driving*. Alat ini bekerja dengan menghilangkan gesekan poros tanah yang bekerja pada tiang pancang. Dan *vibratory driving* memiliki keuntungan dibandingkan dengan *impact driving*. Suara yang ditimbulkan saat proses driving dengan menggunakan *vibratory driving* berkurang, serta kerusakan pada tiang pancang juga berkurang. Teknik pemasangan dengan menggunakan metode *vibratory driving* ini sangat efisien ketika dijalankan di tanah lunak. Namun, tidak begitu efektif dalam tanah kaku. Berikut Gambar 2.3 merupakan gambar metode *vibratory driving* :



**Gambar 2.3** Metode *Vibratory Driving*

### 2.2.3 Alat Pancang Tiang

Menurut Hardiyatmo dalam pemasangan tiang ke dalam tanah, tiang dipancang dengan alat pemukul yang dapat berupa pemukul (*hammer*) mesin uap, pemukul getar atau pemukul yang hanya dijatuhkan. Berikut jenis-jenis dari alat pancang tiang. :

a. Pemukul Jatuh (*Drop Hammer*)

Pemukul jatuh terdiri dari blok pemberat yang dijatuhkan dari atas. Pemberat ditarik dengan tinggi jatuh tertentu kemudian dilepas dan menumbuk tiang. Pemakaian alat tipe ini membuat pelaksanaan pemancangan berjalan lambat, sehingga alat ini hanya dipakai pada volume pekerjaan pemancangan yang kecil.

b. Pemukul Aksi Tunggal (*Single-Acting Hammer*)

Pemukul aksi tunggal berbentuk memanjang dengan *ram* yang bergerak naik oleh udara atau uap yang terkompresi, sedangkan gerakan turun *ram* disebabkan oleh beratnya sendiri. Energi pemukul aksi tunggal adalah sama dengan berat *ram* dikalikan tinggi jatuhnya.

c. Pemukul Aksi Dobel (*Double-Acting Hammer*)

Pemukul aksi dobel menggunakan uap atau udara untuk mengangkat *ram* dan untuk mempercepat gerakan ke bawahnya. Kecepatan pukulan dan energi output biasanya lebih tinggi daripada pemukul aksi tunggal.



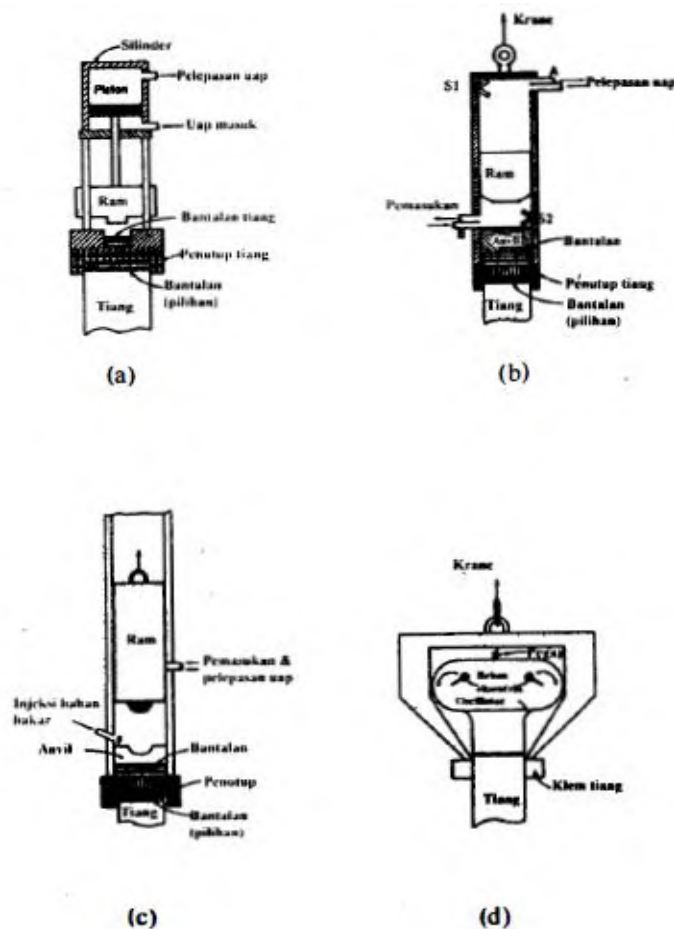
d. Pemukul Diesel (*Diesel Hammer*)

Pemukul tipe ini umumnya kecil, ringan dan digerakkan dengan menggunakan bahan bakar minyak. Energi pemancangan total yang dihasilkan adalah jumlah benturan dari *ram* ditambah energi hasil ledakan.

e. Pemukul Getar (*Vibratory Hammer*)

Pemukul getar merupakan unit alat pancang yang bergetar pada frekuensi tinggi.

Berikut pada Gambar 2.4 merupakan gambar dari pemukul tiang :



**Gambar 2.4** Skema pemukul tiang (Teknik Pondasi 2)

- a) Pemukul aksi tunggal
- b) Pemukul aksi dobel
- c) Pemukul diesel
- d) Pemukul getar

#### 2.2.4 Analisa *Pile Driveability*

Analisa *pile driveability* mempunyai tujuan agar tiang pancang dapat dipenetrasi kekedalaman yang diinginkan, tanpa *overstress* pada tiang pancang pada saat pemancangan dan tanpa refusal. Maksud refusal disini adalah penolakan oleh tiang pancang karena energi *hammer* tidak cukup untuk mendorong tiang pancang lebih dalam lagi. Analisa *pile driveability* juga digunakan dalam pemilihan perlengkapan yang memadai saat proses pemasangan tiang pancang.

Analisa ini memungkinkan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan untuk mendorong tiang pancang kedalam tanah, yang tergantung pada geometri tiang dan pada kondisi lapisan tanah. Dengan demikian, membandingkan perlawanan driving lebih mendalam dengan jumlah yang dibutuhkan *blow-count* untuk memasang tiang pancang sampai kedalaman yang diinginkan. Analisis *driveability* didasarkan pada model satu dimensi yang diusulkan oleh Smith (1960). Pada saat ini *software* GRL-WEAP digunakan dalam proses analisa *pile driving*.

#### 2.2.5 Kapasitas Daya Dukung Tanah Aksial

Kapasitas daya dukung tanah aksial yang diketahui pada umumnya terdiri dari daya dukung akibat gesekan sepanjang tiang pancang dan daya dukung ujung tiang pancang yang diformulasikan sebagai berikut (*API Recommended Practice 2A WSD 2000*):

$$\begin{aligned} Q_d &= Q_f + Q_p \\ &= fA_s + qA_p \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dimana,

$Q_f$  = Total daya dukung gesekan sepanjang tiang (kN)

$Q_p$  = Total daya dukung ujung (kN)

$f$  = Daya dukung gesekan (kPa)

$A_s$  = Luasan badan selimut tiang (m<sup>2</sup>)

$q$  = Daya dukung ujung (kPa)

$A_p$  = Luasan ujung tiang pancang (m<sup>2</sup>)

Selain itu kapasitas daya dukung tiang pancang bisa diformulasikan dengan daya dukung ijin tiang dikalikan dengan faktor keamanan.

$$Q_{all} = \frac{Q_d}{SF} \quad (2.3)$$

Dimana,

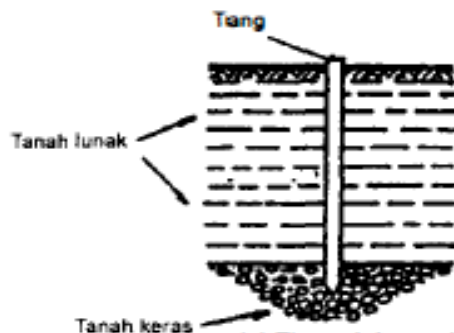
$Q_{all}$  = Daya dukung ijin tiang (kN)

SF = Faktor keamanan

Ada dua cara untuk menentukan kapasitas daya dukung tanah aksial pada tiang pancang yang didasarkan pada sumber data. Cara yang pertama bisa menggunakan parameter-parameter kuat geser tanah, yang didapatkan dari hasil pengujian di laboratorium yaitu nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam  $\phi$ . Kedua merupakan dengan cara menggunakan data uji lapangan, antara lain dengan menggunakan uji *Standard Penetration Test* dan *Cone Penetration Test*.

### 2.2.6 End Bearing

*End bearing* merupakan tahanan ujung tiang yang umumnya berada dalam zona tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang, berikut pada Gambar 2.5 merupakan gambar tiang pancang ditinjau dari daya dukung ujung :



**Gambar 2.5** Tiang pancang ditinjau dari daya dukung ujung (Teknik Pondasi 2)

Untuk daya dukung ujung tiang pancang pada tanah kohesif diformulasikan sebagai berikut (*API Recommended Practice 2A WSD 2000*):

$$q = 9c \quad (2.4)$$

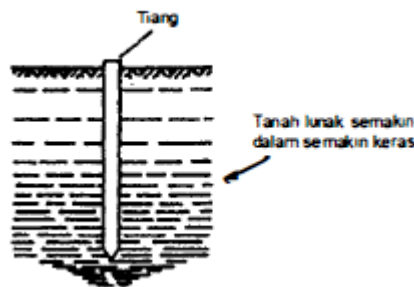
Dimana  $c$  adalah nilai kekuatan geser *undrained* tanah lempung. Sedangkan untuk daya dukung ujung tiang pancang pada tanah non-kohefif diformulasikan sebagai berikut :

$$q = p_o N_q \quad (2.5)$$

Dimana  $p_o$  adalah tegangan vertikal efektif yang bekerja pada tanah (kPa),  $N_q$  faktor daya dukung tiang.

### 2.2.7 Skin Friction

*Skin friction* ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya, berikut pada Gambar 2.6 merupakan gambar tiang pancang ditinjau dari daya dukung gesekan:



**Gambar 2.6** Tiang pancang ditinjau dari daya dukung gesekan (Teknik Pondasi 2)

Perkiraan besar daya dukung gesek denganpada tanah kohesif diformulasikan sebagai berikut (*API Recommended Practice 2A WSD 2000*):

$$f = \alpha c \quad (2.6)$$

Dimana  $c$  merupakan nilai kekuatan geser undrained tanah lempung.

Sedangkan untuk tanah non-kohefif, daya dukung gesekan dirumuskan sebagai berikut (*API Recommended Practice 2A WSD 2000*) :

$$f = K p_o \tan \delta \quad (2.7)$$

Dimana  $K$  merupakan koefisien tekanan tanah lateral pada tiang pancang,  $p_o$  adalah tegangan vertikal efektif yang bekerjaa pada tanah (kPa), dan  $\delta$  adalah sudut gesekan antara tiang dengan tanah.

### 2.2.8 Soil Resistance to Driving

Untuk memprediksi *pile driveability*, kapasitas daya dukung tanah selama pemancangan (SRD) sangat diperlukan. Penurunan rumus untuk perhitungan SRD didapatkan sesuai dengan lokasi UL-A platform.

Formula kapasitas daya dukung tanah selama pemancangan ditulis secara matematis sebagai berikut :

$$SRD = R_s + R_p = \alpha \cdot f \cdot A_s + q \cdot A_p \quad (2.8)$$

Dimana,

SRD = Kapasitas daya dukung tanah selama pemancangan (kN)

$R_s$  = Tahanan gesek selimut (kN)

$R_p$  = Tahanan ujung (kN)

$f$  = Kapasitas gesek selimut (kPa)

$q$  = Kapasitas ujung (kPa)

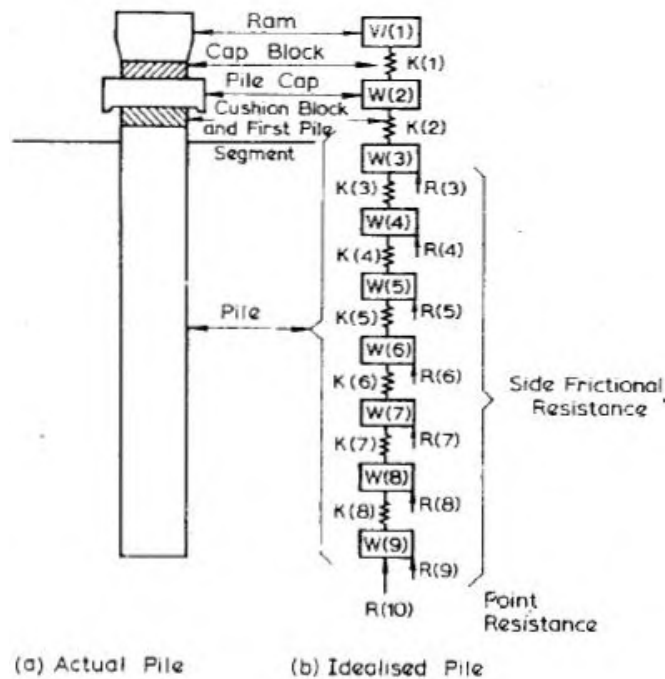
$A_s$  = Luasan permukaan sisi pada tiang pancang ( $m^2$ )

$A_p$  = Luasan penampang pada ujung tiang ( $m^2$ )

$\alpha$  = Faktor yang digunakan untuk menghitung SRD.

### 2.2.9 Persamaan Diferensial Oleh Smith

Smith mempunyai solusi untuk penyelesaian masalah *longitudinal impact*, yaitu dengan cara membagi distribusi pada tiang pancang menjadi beberapa berat yang terkonsentrasi  $W(1)$  melalui  $W(p)$ , yang dihubungkan oleh pegas ringan  $K(1)$  melalui  $K(p)$ , dengan penambahan resistansi tanah yang bekerja pada massa, seperti digambarkan pada Gambar 2.7 (b). Waktu juga dibagi menjadi sedikit demi sedikit. Pemodelan menurut Smith ditunjukkan pada Gambar 2.7 dibawah ini :



**Gambar 2.7** Pemodelan Tiang pancang (Poulos and Davis, 1980).

Pada gambar (2.7) pemodelan tiang pancang terdiri dari :

1. Ram, yang kecepatan awal yang disampaikan oleh *pile driver*
2. *Pile cap*
3. Capblock (*cushioning material*)
4. Tiang pancang
5. Tumpuan tanah

Solusi yang diusulkan oleh Smith, yaitu idealisasi pada *continuous pile* yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 (a), pada Gambar 2.7 (b) hubungan antara *hammer*, tiang pancang dan tanah, yang dimodelkan dengan dibagi beberapa segmen yang mempunyai berat dan kekakuan yang dimodelkan sebagai pegas. Rumus dasar yang digunakan pada persamaan diferensial Smith adalah sebagai berikut:

$$D(m, t) = D(m, t - 1) + 12\Delta t V(m, t - 1) \quad (2.9)$$

$$C(m, t) = D(m, t) - D(m + 1, t) \quad (2.10)$$

$$F(m, t) = C(m, t) \times K(m, t) \quad (2.11)$$

$$R(m, t) = [D(m, t) - D'(m, t)] \times K'(m) [1$$

$$+J(m)xRu(m)xV(m, t - 1)] \quad (2.12)$$

$$V(m, t) = (m, t - 1) + [F(m - 1, t) + \\ -F(m, t) - R(m, t)x \frac{g\Delta t}{w(m)}] \quad (2.13)$$

Dimana:

M = Elemen ke-m

t = Waktu (s)

$\Delta t$  = Interval waktu (s)

C(m,t) = Kompresi pada pegas-m dan waktu-t (m)

D(m,t) = Deformasi pada segmen-m dan waktu-t (m)

D'(m,t)= Deformasi plastis pada segmen-m dan waktu-t (m)

F(m,t) = Gaya pada pegas-m dan waktu-t (kN)

g = Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

J(m) = Konstanta redaman pada segmen-m (s/m)

K(m) = Konstanta pegas dalam pada segmen-m (kN/m)

K'(m) = Konstanta pegas luar pada segmen-m (kN/m)

R(m,t) = Gaya yang dihasilkan pegas luar pada segmen-m dan waktu-t(kN)

V (m,t)= Kecepatan segmen-m pada waktu t (m/s)

W(m) = Berat segmen-m (kN)

Untuk memperhitungkan *internal damping* pada capblock dan cuishon block dengan menggunakan *spring constant* K(m) secara tidak langsung pada perilaku beban-deformasi ( tanpa redaman),maka digunakan rumus:

$$F(m, t) = \frac{K(m)}{[e(m)]^2} x C(m, t) - \left\{ \frac{1}{[e(m)]^2} - 1 \right\} x K(m) x C(m, t) max \quad (2.14)$$

Dimana:

$e$  (m) = Koefisien restitusi pada internal spring-m; dan

$C(m,t)_{max}$  = Nilai maksimum sementara pada  $C(m,t)$

Dengan menggunakan kecepatan awal  $v_n$ :

$$v_n = \sqrt{E_r E_H \frac{2g}{W_h}} \quad (2.15)$$

Dimana,

$E_r$  = *Hammer rated energy* (kJ)

$E_h$  = Efisiensi *hammer* (%)

$W_h$  = Berat tiang pancang (kN)

Sedangkan konstanta pegas dalam  $K(m)$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K(m) = \frac{AE}{\Delta L} \quad (2.16)$$

Dimana,

$A$  = Luas *cross-sectional* pada segmen-m ( $m^2$ )

$E$  = Modulus young pada segmen-m (kPa)

$\Delta L$  = Panjang dari elemen-m (m)

Untuk konstanta pegas luar  $K'(m)$  dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$K'(m) = \frac{(1-\xi)R_u}{nQ(m)} \quad (2.17)$$

Dimana,

$Q(m)$  = Nilai quake pada elemen m (m)

$n$  = Jumlah elemen sepanjang tiang pancang



### 2.2.10 Model Persamaan Gelombang

Analisa model persamaan gelombang memberikan pengaruh pada hammer yang mengenai gelombang dinamis yang melewati sistem *pile-soil*. Model tiang pancang dibentuk sebagai elemen diskrit, yang dihubungkan dengan redaman, dimana tegangan tekan gelombang diterapkan, termasuk koefisien “*quake*” dan “*damping*”. *Quake* mewakili perpindahan maksimum dimana tanah akan melewati gelombang kejut dan *damping* mewakili hilangnya energi pada sistem tanah dan merupakan 20ias20r yang digunakan untuk mendekati besarnya redaman tanah. Model tanah diilustrasikan sebagai pegas dan peredam pada bagian ujung dan selimut tiang yang berinteraksi dengan tiang pancang.

Pada perhitungan menggunakan *software* GRL WEAP, nilai *quake* dan *damping factor* akan diambil dari jenis tanah jika 20ias20r20y tanah untuk perhitungan rumus diatas tidak tersedia.

### 2.2.11 Stres Selama Driving

Tegangan selama driving yang diijinkan pada tiang pancang bisa dihitung sesuai dengan *section* 3.2 dan 3.3 pada *API RP-2A (2000)* bahwa jumlah tegangan karena *impact hammer (dynamic stresses)* dan tegangan karena beban aksial dan *bending (statics stresses)* tidak bisa melebihi nilai *yield strength* minimum pada baja.

Berikut merupakan Tabel 2.1 tegangan *pile driving* yang diijinkan sesuai dengan GRL-WEAP 2005 :

**Tabel 2.1** Tegangan *pile driving* yang diijinkan

Pile Material	Allowable Tension Stress	Allowable Compression Stress
Steel	0,9 $f_y$	0,9 $f_y$

Dimana,

$f_y$  = Yield strength sebagai gaya (kips atau Kn)

### 2.2.12 Pile Driving Fatigue

*Pile driving fatigue* mengacu pada DNV-RP-C203. Kerusakan kelelahan akibat pile driving dihitung dengan menggunakan metodologi yang disajikan di bawah ini. Metodologi dasar meliputi:

- Menggunakan output GRLWEAP, menghitung jumlah pukulan terhadap kedalaman dan jangkauan stres yang terkait,
- *Stress Concentration Factor*(SCF) yang sesuai dan kurva S-N yang dipilih,
- Menggunakan jumlah pukulan dan data berbagai stres, kerusakan kelelahan pada tiang pancang dihitung. Aturan Palmgren-Miner kemudian diterapkan untuk jumlah kerusakan kelelahan dan memperoleh total kerusakan kelelahan akibat *driving*.

Kerusakan kelelahan kumulatif  $D$  dari pile dievaluasi dengan aturan Palmgren-Miner sesuai *DNV RP-C203 2012*:

$$D = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \quad (2.18)$$

Dengan,

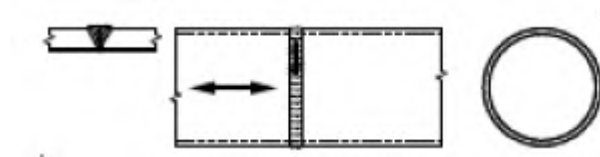
$N_i$  = Jumlah siklus kegagalan pada variasi rasio tegangan  $\Delta\sigma_i$ .

$N_i$  = Jumlah siklus yang ditimbulkan struktur untuk variasi stres  $\Delta\sigma_i$ .

Perlu dicatat bahwa variasi rasio tegangan  $\Delta\sigma_i$  tidak konstan terhadap waktu seperti pada *pile driving*, energi *hammer* disesuaikan dengan tahanan tanah.

### 2.2.13 Stress Concentration Factor

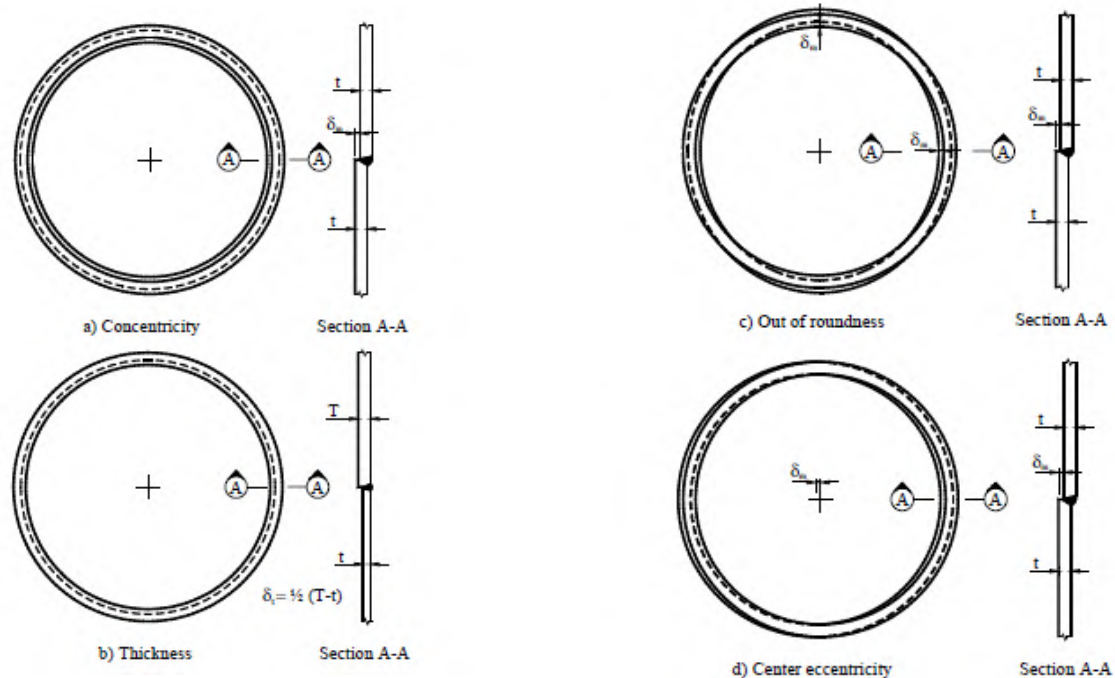
DNV-RP-C203 menyediakan panduan desain kelelahan struktur baja lepas pantai dan lebih tepatnya pada perhitungan faktor konsentrasi tegangan yang akan diterapkan dalam analisis kelelahan. Untuk tiang pancang dengan transisi ketebalan dinding, yang dapat dilihat sebagai sambungan las *butt* tubular. Berikut Gambar 2.8 yang merupakan bentuk melintang lasan *butt*.



**Gambar 2.8** Bentuk melintang *butt weld*

SCF pada sambungan lasan *butt* tubular merupakan *eccentricities* yang dihasilkan dari sumber yang berbeda. Ini dapat diklasifikasikan sebagai *concentricity* (perbedaan diameter tubular), perbedaan ketebalan pada *tubular joint*, *out of roundness* dan *centre eccentricity*, lihat Gambar 2.9, *eccentricities*

yang dihasilkan secara konservatif dievaluasi dengan penjumlahan langsung dari sumber yang berbeda. *Eccentricities* karena *out of roundness* biasanya memberikan nilai *eccentricity*  $\delta$  yang paling besar.



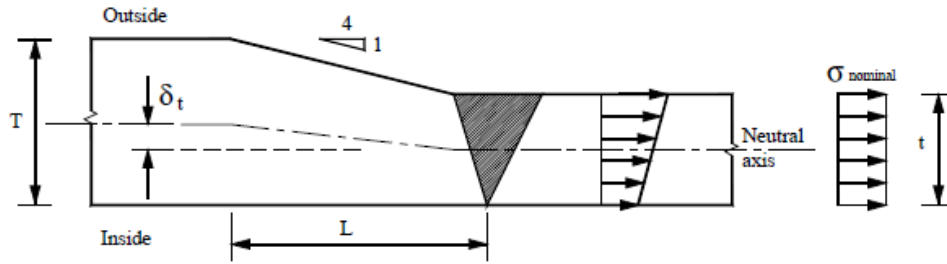
**Gambar 2.9** Geometri konsentrasi tegangan lokal pada tubular *butt welds*

Pada DNV RP C-203 *stress concentration factor* pada sambungan lasan *butt* dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut :

- Stress Concentration Factor* pada *Butt Weld* dengan Transisi Ketebalan

Untuk sambungan tubular *butt weld* yang dikenai beban aksial yang dirancang sedemikian rupa sehingga setiap transisi ketebalan ditempatkan di bagian luar (lihat Gambar 2.10).

Untuk geometri ini, SCF untuk transisi diterapkan pada bagian luar. Bagian dalam pada gambar 2.10 biasanya menggunakan  $SCF = 1.0$ . Transisi ketebalan biasanya akan dibuat dengan kemiringan 1: 4.



**Gambar 2.10** Transisi ketebalan dibagian luar tubular butt weld

Untuk perhitungan SCF pada *tubular butt welds* menggunakan rumus *plate eccentricities*. Pengaruh diameter dalam kaitannya dengan ketebalan dapat dimasukkan dengan menggunakan rumus berikut, asalkan  $T / t \leq 2$  (DNV-RP-C203 2012, persamaan 3.3.4) :

$$SCF = 1 + \frac{6(\delta_t + \delta_m - \delta_0)}{t} \frac{1}{1 + \left(\frac{T}{t}\right)^\beta} e^{-\alpha} \quad (2.19)$$

Dimana,

$$\alpha = \frac{1.82L}{\sqrt{Dt}} \frac{1}{\left(\frac{T}{t}\right)^\beta} ; \quad \beta = 1.5 - \frac{1.0}{\text{Log}\left(\frac{D}{t}\right)} + \frac{3.0}{\left[\text{Log}\left(\frac{D}{t}\right)\right]^2}$$

$$\delta_0 = 0.1 t,$$

$$\delta_m = \text{Eksentrisitas karena sifat konsentris},$$

$$\delta_t = 0.5 (T-t) \text{ eccentricities karena perubahan ketebalan},$$

$$T = \text{Ketebalan plat tebal},$$

$$D = \text{Diameter nominal sambungan tubular},$$

$$t = \text{Ketebalan plat tipis},$$

$$L = \text{Panjang dimana eccentricities didistribusikan}.$$

Persamaan (2.19) berlaku untuk perhitungan faktor konsentrasi tegangan untuk sisi tubular bagian luar yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 a saat transisi ketebalan di luar. Untuk bagian dalam sambungan dengan transisi ketebalan di luar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 b persamaan berikut dapat digunakan:

(2.20)



**Gambar 2.11** Perbedaan kombinasi untuk lasan tubular

Jika transisi di ketebalan di bagian dalam tubular dan las terbuat dari kedua sisi, persamaan (2.19) dapat diterapkan untuk *inside weld toe* dan persamaan (2.20) untuk *outside weld toe*. Jika transisi di ketebalan di bagian dalam tubular dan las dibuat dari luar saja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11 c, persamaan (2.20) dapat digunakan untuk perhitungan konsentrasi tegangan untuk *outside weld toe*.

- b. *Stress Concentration Factor* pada *Butt Weld* dengan Ketebalan yang Sama

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan SCF dengan ketebalan yang sama :

$$SCF = 1 + \frac{3(\delta_m - \delta_o)}{t} e^{-\alpha} \quad (2.21)$$

Dimana,

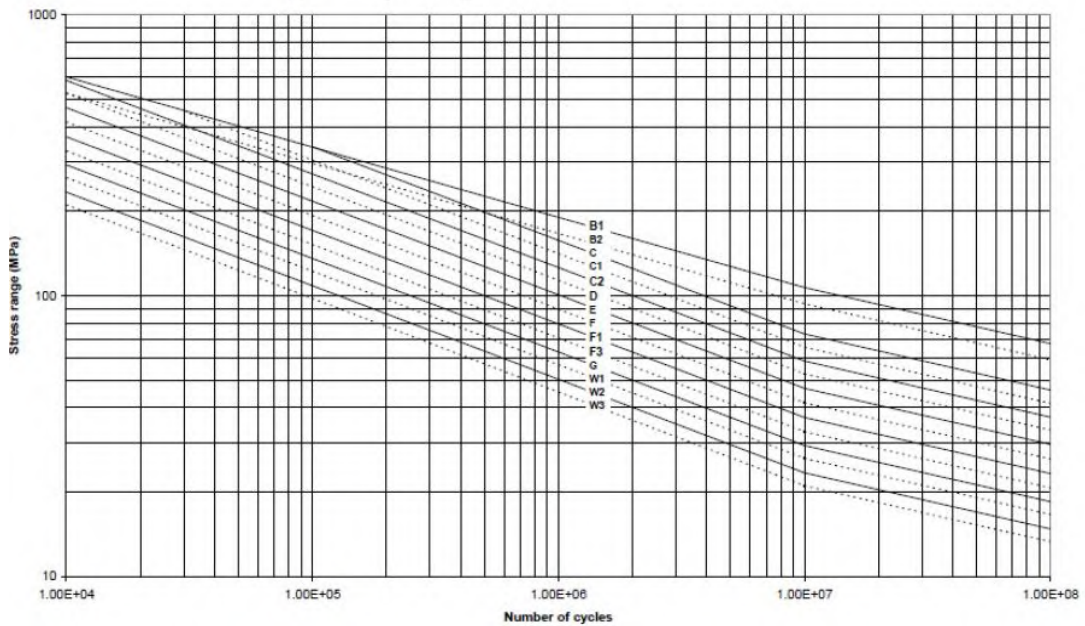
$$\alpha = \frac{0.91L}{\sqrt{Dt}}$$

$$\delta_o = 0.1 t$$

L = Lebar lasan pada permukaan

#### 2.2.14 Kurva S-N

Kurva S-N digunakan untuk menentukan umur kelelahan pada struktural baja (lihat Gambar 2.12 di bawah). Kurva S-N yang relevan adalah fungsi dari jenis las yang digunakan untuk menyambungkan bagian tiang pancang.



**Gambar 2.12** Kurva S-N dari DNV-RP-C203

Bentuk kurva S-N dan jumlah siklus pada kegagalan untuk variasi rasio tegangan yang diberikan oleh:

$$\log(N) = \log(\bar{\alpha}) - m \log\left(\Delta\sigma\left(\frac{t}{t_{reff}}\right)^k\right) \quad (2.21)$$

Dimana,

$N$  = Jumlah siklus kegagalan untuk berbagai tegangan  $\Delta\sigma$ ,

$\log(\overline{a})$  = Potongan kurva desain S-N dengan sumbu  $\log N$ ,

$m$  = Kemiringan negatif dari kurva S-N,

$t_{ref}$  =Referensi ketebalansama dengan 25 mm untuk sambungan las selain *tubular joint*,

$t$  = Ketebalan tiang pancang,  $t = t_{ref}$  digunakan untuk ketebalan kurang dari  $t_{ref}$ ,

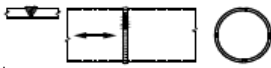

$k$  = Ketebalan eksponen pada kekuatan kelelahan seperti yang diberikan dalam DNV RP-C203.

Nilai  $\log(\overline{a})$ ,  $k$  dan  $m$  disediakan pada tabel 2-1 DNV-RP-C203 untuk kurva S-N yang relevan. Berikut pada Tabel 2.2 untuk nilai  $\log(\overline{a})$ ,  $k$  dan  $m$  sesuai DNV-RP-C203 :

**Tabel 2.2** Nilai  $\log(\overline{a})$ ,  $k$  dan  $m$  sesuai DNV-RP-C203

<i>S-N curve</i>	<i><math>N \leq 10^6</math> cycles</i>		<i><math>N &gt; 10^6</math> cycles</i> $\log \overline{a}_2$ $m_2 = 5.0$	<i>Fatigue limit at</i> <i><math>10^7</math> cycles*)</i>	<i>Thickness exponent <math>k</math></i>	<i>Stress concentration in</i> <i>the S-N detail as derived</i> <i>by the hot spot method</i>
	$m_1$	$\log \overline{a}_1$				
B1	4.0	14.917	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.685	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.192	16.320	73.10	0.15	
C1	3.0	12.049	16.081	65.50	0.15	
C2	3.0	11.901	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	11.764	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	11.610	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.455	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.299	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.146	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	10.998	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	10.861	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	10.707	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.570	13.617	21.05	0.25	2.50
T	3.0	11.764	15.606	52.63	0.25 for SCF $\leq 10.0$ 0.30 for SCF $> 10.0$	1.00

Sedangkan untuk jenis sambungan las dan kurva S-N yang terkait bisa dilihat pada Gambar 2.13 di bawah ini :

C1		3. Circumferential butt weld made from both sides dressed flush.	3., 4., 5. and 6. — The applied stress must include the stress concentration factor to allow for any thickness change and for fabrication tolerances, ref. section 3.3.7. — The requirements to the corresponding detail category in Table A-5 apply.
D		4. Circumferential butt weld made from both sides.	
E		5. Circumferential butt weld made from both sides made at site.	
F		6. Circumferential butt weld made from one side on a backing bar.	
F3		7. Circumferential butt weld made from one side without a backing bar.	7. — The applied stress should include the stress concentration factor to allow for any thickness change and for fabrication tolerances, ref. section 3.3.7. — The weld root proved free from defects larger than 1-2 mm.
C1		8. Circumferential butt welds made from one side that are machined flush to remove defects and weld overfill.	8. A machining of the surfaces will reduce the thickness. Specially on the root side material will have to be removed. A reduced thickness should be used for calculation of stress. The weld should be proved free from defects by non-destructive examination (It is assumed that this is fulfilled by Inspection category I). Category C may be achieved; ref. Table A-5.

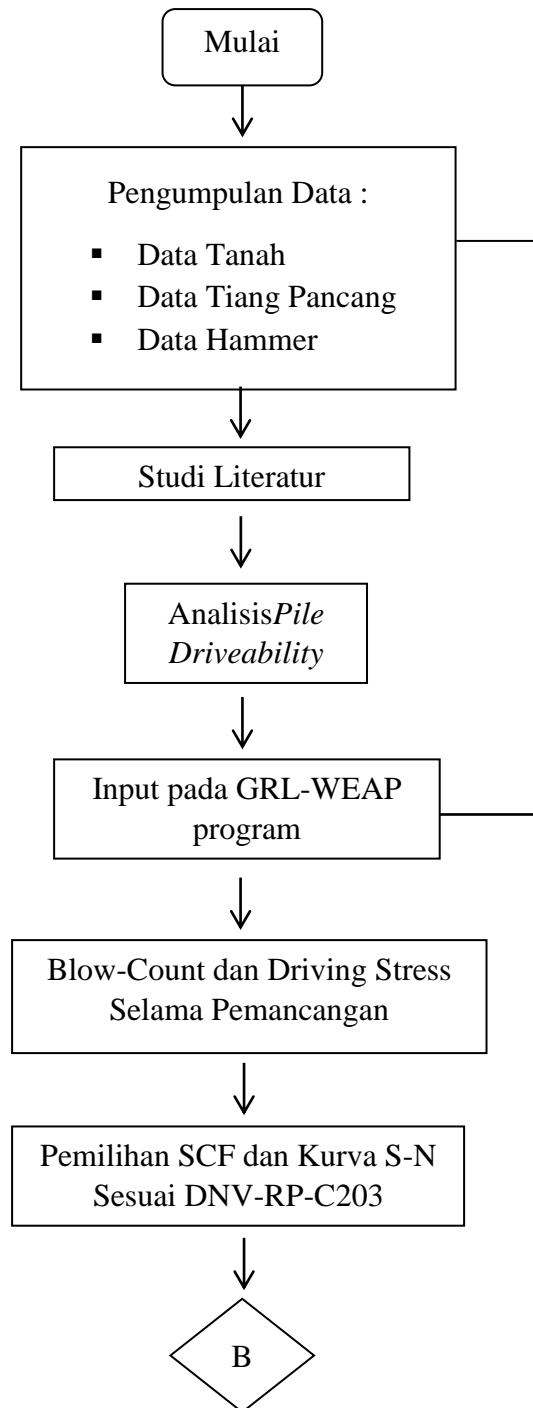
**Gambar 2.13** Jenis Sambungan Las pada Kurva S-N



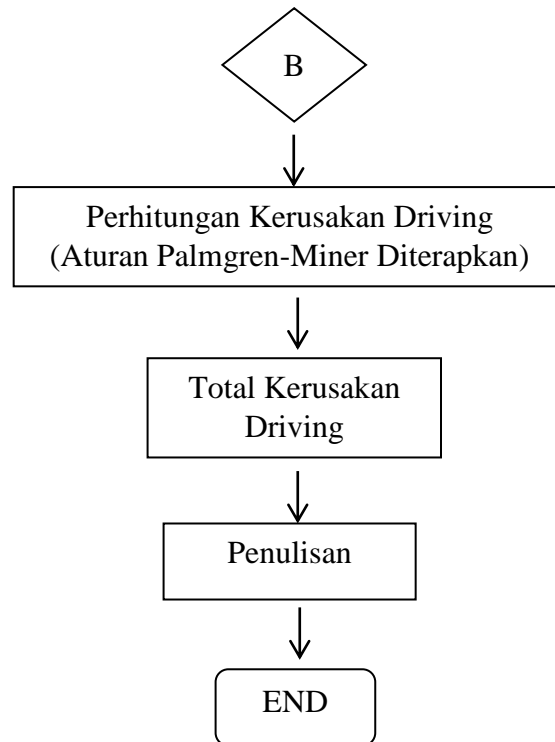
*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Pengerjaan



**Gambar 3.1** *Flowchart* pengerjaan tugas akhir



**Gambar 3.1** Flowchart pengerjaan tugas akhir (Lanjutan)

### 3.2 Prosedur Penelitian

#### 1. Pengumpulan data.

Pengumpulan data dalam analisa ini meliputi data data *hammer* yang digunakan dalam proses *driving*, data tanah, dan data tiang pancang. Berikut merupakan rincian data yang digunakan :

##### a. Data *Hammer*

Data *hammer* yang digunakan adalah jenis *hammer* hidrolik dengan dua tipe *hammer*, yaitu IHC S-90 dan IHC S-150 pada Tabel 3.1 sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Data *hammer*

Jenis <i>Hammer</i>	<i>Rate Energy</i>	<i>Berat Ram</i>	<i>Berat Total</i>	<i>Panjang Hammer (m)</i>
	(kNm)	(kN)	(kN)	
IHC S-90	90	8.55	4.5	8.05
IHC S-150	150	10.19	7.5	8.90

b. Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah sebagai berikut pada Tabel 3.2 :

**Tabel 3.2** Data tanah

Depth m	Soil type	Thickness m	End Resistance	
			Unit Skin Friction kPa	Unit End Bearing Mpa
0	CLAY		0	0
1	CLAY	1	4.41	0.09
1	CLAY		12.43	0.03
5	CLAY	4	39.54	0.09
5	SAND		23.59	1.9
13.8	SAND	8.8	62.62	5.42
13.8	CLAY		108.75	2.25
16.4	CLAY	2.6	114.56	2.25
16.4	SILT		29.67	1.04
20.1	SILT	3.7	38.33	1.296
20.1	CLAY		136.76	2.7
22.7	CLAY	2.6	141.45	2.7
22.7	SAND		66.74	3.68
28	SAND	5.3	82.42	4.68
28	CLAY		94.78	1.35
35	CLAY	7	109.98	1.35
35	CLAY		163.43	2.97
36	CLAY	1	163.43	2.97
36	SAND		85.48	4.8
38	SAND	2	85.48	4.8
38	CLAY		117.24	1.44
41	CLAY	3	121.36	1.44
41	CLAY		163.78	2.88
44	CLAY	3	179.31	2.88
44	SAND		85.48	4.8
51.2	SAND	7.2	85.48	4.8
51.2	CLAY		156.77	1.98
53	CLAY	1.8	159.71	1.98
53	CLAY		183.34	2.7
55	CLAY	2	1,898	2.7
55	SAND		98	9.6
69.3	SAND	14.3	97.76	9.6
69.3	CLAY		231.87	3.15
70	CLAY	0.7	231.87	3.15

c. Data Tiang Pancang

Data tiang pancang yang digunakan adalah sebagai berikut pada Tabel 3.3 :

**Tabel 3.3** Data tiang pancang

Data	Besaran	Satuan
Panjang	81.26	m
Penetrasi	53.34	m
<i>Pile Size</i>	762	mm
<i>Yield Strength</i>	345	Mpa

Untuk data ketebalan tiang pancang bisa di lihat pada Lampiran C, tiang pancang yang digunakan dalam analisis ini mempunyai perbedaan ketebalan, yaitu 1.5 inch dan 1 inch.

d. Data *Quake* dan *Damping*

Data *quake* dan *damping* yang digunakan adalah sebagai berikut pada Tabel 3.4 :

**Tabel 3.4** Data *quake* dan *damping*

PARAMETER		CLAY				SILT	SAND
Damping		SOFT	STIFF	VERY STIFF	HARD		
(sec/m)	Shaft	0.36	0.197	0.164	0.098	0.230	0.262
	Toe	0.65	0.492	0.492	0.492	0.492	0.492
Quake	Shaft	2.54				2.54	2.54
(mm)	Toe	2.54				2.54	2.54

2. Studi Literatur

Melakukan studi literatur yang digunakan sebagai teori dasar dalam melakukan analisa yang digunakan dalam tugas akhir ini, seperti buku-buku mengenai analisa yang terkait, jurnal nasional dan internasional, tugas akhir yang terkait, *rules standard*, dan lain-lain.

3. Analisis *Pile Driveability*

a. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tanah Selama Pemancangan

Untuk memprediksi *pile driveability*, kapasitas daya dukung tanah selama pemancangan (SRD) sangat diperlukan. Formula kapasitas daya dukung tanah selama pemancangan ditulis secara matematis sebagai berikut:

$$SRD = R_s + R_p = \alpha \cdot f \cdot A_s + q \cdot A_p$$

Dimana,

SRD = Kapasitas daya dukung tanah selama pemancangan (kN)

$R_s$  = Tahanan gesek selimut (kN)

- $R_p$  = Tahanan ujung (kN)  
 $f$  = Kapasitas gesek selimut (kPa)  
 $q$  = Kapasitas ujung (kPa)  
 $A_s$  = Luasan permukaan sisi pada tiang pancang ( $m^2$ )  
 $A_p$  = Luasan penampang pada ujung tiang ( $m^2$ )  
 $\alpha$  = Faktor yang digunakan untuk menghitung SRD.

b. Input Pada GRL-WEAP 2005

Evaluasi hammer, tiang pancang, dan sistem tanah telah dilakukan dengan menggunakan program GRLWEAP (versi 2005). Program ini menggunakan analisis persamaan gelombang satu dimensi untuk memperoleh hubungan antara kapasitas daya dukung tanah selama pemancangan (SRD) dan energi hammer.

Parameter input yang diperlukan untuk program ini adalah:

- a) Karakteristik *Hammer*;
- b) Sifat pile atau *pile make-up*
- c) Data Tanah termasuk gesekan selimut, *end bearing* dan karakteristik redaman.
- d) Faktor *Gain / loss* digunakan untuk *shaft/toe resistance*

4. Analisis Kerusakan Kelelahan pada Tiang Pancang Selama Pemancangan

Analisis kerusakan kelelahan pada tiang pancang selama pemancangan mengacu pada DNV-RP-C203. Kerusakan kelelahan akibat pile driving dihitung dengan menggunakan metodologi yang disajikan di bawah ini. Metodologi dasar meliputi:

- Menggunakan output GRLWEAP, menghitung jumlah pukulan terhadap kedalaman dan jangkauan stres yang terkait,
- *Stress concentration factor* (SCF) yang sesuai dan kurva S-N yang dipilih,
- Menggunakan jumlah pukulan dan data berbagai stres, kerusakan kelelahan pada tiang pancang dihitung. Aturan Palmgren-Miner kemudian diterapkan untuk jumlah kerusakan kelelahan dan memperoleh total kerusakan kelelahan akibat *driving*.

5. Pembahasan dan Penarikan Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah didapatkan, dilakukan analisis hasil dan pembahasan, kemudian ditarik beberapa kesimpulan dari hasil analisis tersebut. Kesimpulan yang dihasilkan merupakan jawaban dari rumusan masalah analisis. Kekurangan dan penyempurnaan yang lain dirangkum dalam bentuk saran untuk pengembangan penelitian oleh analis selanjutnya.

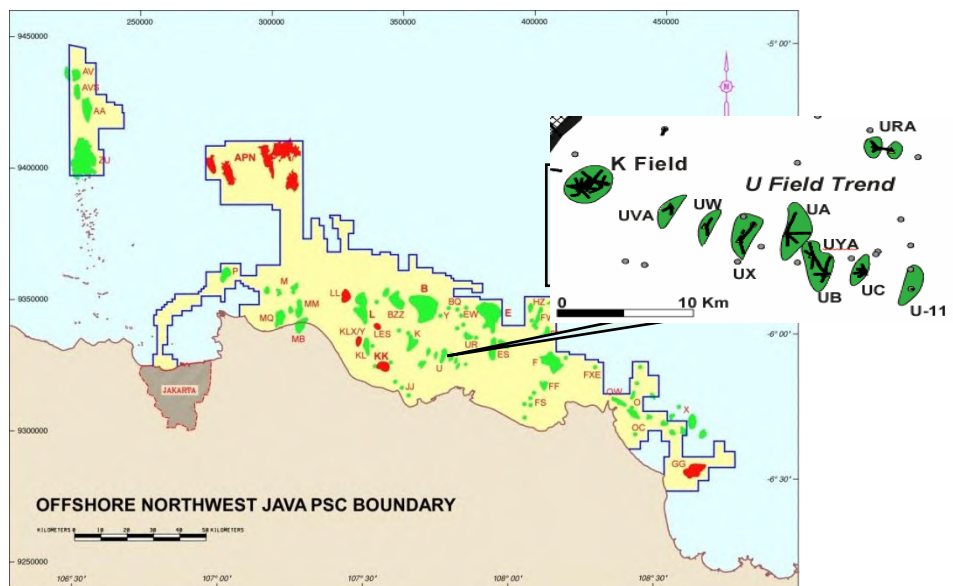
#### 6. Penulisan Laporan

Penyusunan laporan tugas akhir.

## ANALISA DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Lokasi Studi

Obyek studi yang digunakan adalah UL-A tripod platform, untuk dipasang di Ardjuna *Field*, barat laut dari Laut Jawa. Koordinat platform adalah latitude :  $6^{\circ} 5' 39.44''$  S, dan longitude :  $107^{\circ} 42' 29.07''$  E. UL-A platform terletak dalam bidang uniform sekitar 3,8 mil barat laut dari UWA platform yang ada dan 8,5 mil barat dari UPRO platform. Berikut pada Gambat 4.1 adalah lokasi dari UL-A platform :



**Gambar 4.1** Lokasi Field UL-A platform

(Sumber : *Geotechnical investigation report for UL-A location*)

## 4.2 Data Hammer

Data *hammer* (lihat Tabel 3.1) yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini merupakan jenis *hammer* hidrolik, yaitu IHC S-90 dan IHC S-150. Data *hammer* ini digunakan untuk input parameter *hammer* pada *software* GRL-WEAP, berikut pada Tabel 4.1 yang merupakan spesifikasi dari dua *hammer* tersebut :



### 4.3 Data Tanah

Data tanah merupakan hasil pengukuran di lokasi UL-A platform, data tanah yang digunakan bisa di lihat pada Tabel 3.2

### 4.4 Data Tiang Pancang

Tiang pancang yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan tiang pancang vertikal (A1) dengan batter 1 : 0 yang akan di penetrasi pada kedalaman 53.34 m. Data ini akan digunakan untuk input parameter tiang pancang pada software GRL-WEAP. Tiang pancang ini memiliki perbedaan ketebalan yang bisa dilihat pada Lampiran C. Data tiang pancang yang digunakan bisa di lihat pada Tabel 3.4.

### 4.5 Data *Quake dan Damping*

Data ini digunakan untuk input parameter tanah quake dan damping, parameter tersebut bisa di lihat pada Tabel 3.4.

### 4.6 Perhitungan *Soil Resistance to Driving*

*Soil resistance to driving* dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8). dan diasumsikan pada kondisi *continuous* dan *restart* berdasarkan kriteria data tanah lokasi UL-A platform (*Geotechnical investigation report for UL-A location*). Ketika kondisi restart terjadi proses penyambungan tiang pancang yang mengakibatkan daya dukung tanah kembali ke 75% *clay* dan 100% *sand* (*UNIFORM-C-CAL-0009 ULA pile driveability report*). Dan pada kondisi *continuous* tanah di sekitar berubah dan mengalami penurunan sementara dan daya dukung tanah diasumsikan 50% *clay* dan 100% *sand* (*American Petroleum Institute*).

Nilai *end bearing* diasumsikan dalam kondisi *plugged* dan *unplugged* (*Geotechnical investigation report for UL-A location*). Kondisi *plugged* diasumsikan bahwa luasan bidang diameter alas tiang pancang adalah luasan luar diameter tiang pancang, sedangkan kondisi *unplugged* diasumsikan bahwa luasan bidang diameter alas tiang pancang adalah luasan dalam diameter tiang pancang.

Maka didapatkan nilai *end bearing* kondisi *plugged* dan *unplugged* sebagai berikut pada Tabel 4.1 :

**Tabel 4.1** Nilai *end bearing* kondisi *plugged* dan *unplugged*

Depth	Soil	Thickness	Unit Skin Friction	Unit End Bearing	End Bearing (Plugged)	End Bearing (UnPlugged)
m	Type	m	kPa	Mpa	kN	kN
0.0	CLAY		0	0	0.00	0.00
1.0	CLAY	1.00	4.416	0.09	41.04	7.80
1.0	CLAY		12.434	0.036	16.42	3.12
5.0	CLAY	4.00	39.543	0.09	41.04	7.80
5.0	SAND		23.598	1.9	866.47	164.63
13.8	SAND	8.80	62.621	5.42	2471.72	469.63
13.8	CLAY		108.756	2.25	1026.08	194.96
16.4	CLAY	2.60	114.564	2.25	1026.08	194.96
16.4	SILT		29.675	1.044	476.10	90.46
20.1	SILT	3.70	38.332	1.296	591.02	112.29
20.1	CLAY		136.769	2.7	1231.30	233.95
22.7	CLAY	2.60	141.458	2.7	1231.30	233.95
22.7	SAND		66.746	3.681	1678.67	318.95
28.0	SAND	5.30	82.421	4.688	2137.90	406.20
28.0	CLAY		94.785	1.35	615.65	116.97
35.0	CLAY	7.00	109.982	1.35	615.65	116.97
35.0	CLAY		163.437	2.97	1354.43	257.34
36.0	CLAY	1.00	163.437	2.97	1354.43	257.34
36.0	SAND		85.489	4.8	2188.98	415.91
38.0	SAND	2.00	85.489	4.8	2188.98	415.91
38.0	CLAY		117.243	1.44	656.69	124.77
41.0	CLAY	3.00	121.36	1.44	656.69	124.77
41.0	CLAY		163.78	2.88	1313.39	249.54
44.0	CLAY	3.00	179.314	2.88	1313.39	249.54
44.0	SAND		85.489	4.8	2188.98	415.91
51.2	SAND	7.20	85.489	4.8	2188.98	415.91
51.2	CLAY		156.779	1.98	902.95	171.56
53.0	CLAY	1.80	159.717	1.98	902.95	171.56
53.0	CLAY		183.34	2.7	1231.30	233.95
55.0	CLAY	2.00	189.876	2.7	1231.30	233.95
55.0	SAND		97.765	9.6	4377.95	831.81
69.3	SAND	14.30	97.765	9.6	4377.95	831.81
69.3	CLAY		231.872	3.15	1436.52	272.94
70.0	CLAY	0.70	231.872	3.15	1436.52	272.94

Setelah nilai end bearing kondisi *plugged* dan *unplugged* didapatkan langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *skin friction* pada Tabel 4.2 :

**Tabel 4.2** Nilai *skin friction*

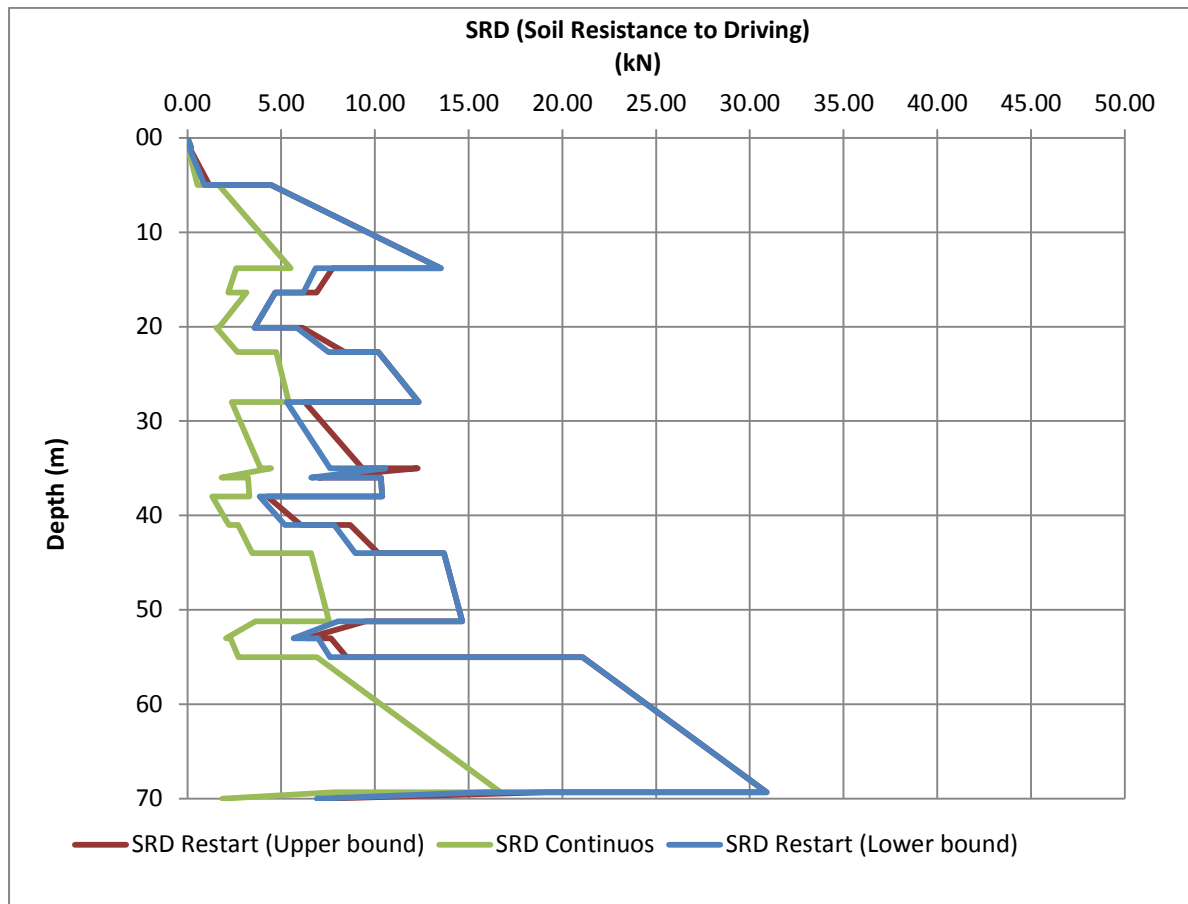
Depth	Soil	Thickness	Unit Skin Friction	Unit End Bearing	End Bearing (Plugged)	End Bearing (UnPlugged)	Unit Skin Friction	Skin Friction		
								Continuous	Set-up	
m	Type	m	kPa	Mpa	kN	kN	kPa	kN	Upper Bound kN	Lower Bound kN
0.0	CLAY		0	0	0.00	0.00		0.00	0	0.00
1.0	CLAY	1.00	4.416	0.09	0.09	7.80	2.21	2.64	5.285717	3.96
1.0	CLAY		12.434	0.036	0.04	3.12		2.64	5.285717	3.96
5.0	CLAY	4.00	39.543	0.09	0.09	7.80	25.99	124.43	248.8548	186.64
5.0	SAND		23.598	1.9	1.90	164.63		248.85	248.8548	248.85
13.8	SAND	8.80	62.621	5.42	5.42	469.63	43.11	908.16	908.1561	908.16
13.8	CLAY		108.756	2.25	2.25	194.96		454.08	908.1561	681.12
16.4	CLAY	2.60	114.564	2.25	2.25	194.96	111.66	347.49	694.9856	521.24
16.4	SILT		29.675	1.044	1.04	90.46		694.99	694.9856	694.99
20.1	SILT	3.70	38.332	1.296	1.30	112.29	34.00	301.18	301.1828	301.18
20.1	CLAY		136.769	2.7	2.70	233.95		150.59	301.1828	225.89
22.7	CLAY	2.60	141.458	2.7	2.70	233.95	139.11	432.93	865.8596	649.39
22.7	SAND		66.746	3.681	3.68	318.95		865.86	865.8596	865.86
28.0	SAND	5.30	82.421	4.688	4.69	406.20	74.58	946.29	946.2883	946.29
28.0	CLAY		94.785	1.35	1.35	116.97		473.14	946.2883	709.72
35.0	CLAY	7.00	109.982	1.35	1.35	116.97	102.38	857.83	1715.666	1286.75
35.0	CLAY		163.437	2.97	2.97	257.34		857.83	1715.666	1286.75
36.0	CLAY	1.00	163.437	2.97	2.97	257.34	163.44	195.63	391.2508	293.44
36.0	SAND		85.489	4.8	4.80	415.91		391.25	391.2508	391.25
38.0	SAND	2.00	85.489	4.8	4.80	415.91	85.49	409.30	409.3031	409.30
38.0	CLAY		117.243	1.44	1.44	124.77		204.65	409.3031	306.98
41.0	CLAY	3.00	121.36	1.44	1.44	124.77	119.30	428.39	856.7853	642.59
41.0	CLAY		163.78	2.88	2.88	249.54		428.39	856.7853	642.59
44.0	CLAY	3.00	179.314	2.88	2.88	249.54	171.55	616.00	1231.996	924.00
44.0	SAND		85.489	4.8	4.80	415.91		1232.00	1231.996	1232.00
51.2	SAND	7.20	85.489	4.8	4.80	415.91	85.49	1473.49	1473.491	1473.49
51.2	CLAY		156.779	1.98	1.98	171.56		736.75	1473.491	1105.12
53.0	CLAY	1.80	159.717	1.98	1.98	171.56	158.25	340.95	681.892	511.42
53.0	CLAY		183.34	2.7	2.70	233.95		340.95	681.892	511.42
55.0	CLAY	2.00	189.876	2.7	2.70	233.95	186.61	446.72	893.4394	670.08
55.0	SAND		97.765	9.6	9.60	831.81		893.44	893.4394	893.44
69.3	SAND	14.30	97.765	9.6	9.60	831.81	97.77	3346.76	3346.758	3346.76
69.3	CLAY		231.872	3.15	3.15	272.94		1673.38	3346.758	2510.07
70.0	CLAY	0.70	231.872	3.15	3.15	272.94	231.87	194.28	388.5538	291.42

Dengan menggunakan persamaan (2.8) didapatkan nilai SRD pada Tabel 4.3 SRD pada kondisi *continuous* dan *restart*.

**Tabel 4.3** Nilai soil resistance to driving

Depth	Soil	Thickness	Soil Resistance to Driving		
			Continuous	Set-up	
m	Type	m	kN	Upper Bound kN	Lower Bound kN
0.0	CLAY		0.00	0.00	0.00
1.0	CLAY	1.00	10.44	46.33	45.01
1.0	CLAY		5.76	21.70	20.38
5.0	CLAY	4.00	132.23	289.90	227.68
5.0	SAND		413.48	1115.32	1115.32
13.8	SAND	8.80	1377.78	3379.88	3379.88
13.8	CLAY		649.03	1934.24	1707.20
16.4	CLAY	2.60	542.45	1721.07	1547.32
16.4	SILT		785.45	1171.09	1171.09
20.1	SILT	3.70	413.48	892.21	892.21
20.1	CLAY		384.54	1532.48	1457.19
22.7	CLAY	2.60	666.88	2097.16	1880.69
22.7	SAND		1184.81	2544.53	2544.53
28.0	SAND	5.30	1352.49	3084.19	3084.19
28.0	CLAY		590.12	1561.94	1325.37
35.0	CLAY	7.00	974.81	2331.32	1902.40
35.0	CLAY		1115.17	3070.10	2641.18
36.0	CLAY	1.00	452.97	1745.68	1647.87
36.0	SAND		807.16	2580.23	2580.23
38.0	SAND	2.00	825.21	2598.28	2598.28
38.0	CLAY		329.42	1066.00	963.67
41.0	CLAY	3.00	553.16	1513.48	1299.28
41.0	CLAY		677.94	2170.17	1955.97
44.0	CLAY	3.00	865.54	2545.38	2237.38
44.0	SAND		1647.90	3420.97	3420.97
51.2	SAND	7.20	1889.40	3662.47	3662.47
51.2	CLAY		908.31	2376.44	2008.07
53.0	CLAY	1.80	512.51	1584.84	1414.37
53.0	CLAY		574.89	1913.19	1742.72
55.0	CLAY	2.00	680.67	2124.74	1901.38
55.0	SAND		1725.25	5271.39	5271.39
69.3	SAND	14.30	4178.57	7724.71	7724.71
69.3	CLAY		1946.32	4783.27	3946.58
70.0	CLAY	0.70	467.21	1825.07	1727.93

Berikut adalah hubungan antara kapasitas daya dukung tanah saat pemancangan dengan kedalaman yang bisa dilihat pada Gambar 4.2 :



**Gambar 4.2** Soil resistance to driving vs kedalaman

Hubungan antara kapasitas daya dukung tanah saat pemancangan dengan kedalaman pada gambar di atas bisa di liat bahwa nilai kapasitas daya dukung tanah saat pemancangan pada kondisi *restart (upper bound)* lebih besar dikarenakan diasumsikan luasan bidang yang mengenai tanah adalah luasan alas diameter luar dari tiang pancang.

#### 4.7 Input Pemodelan GRL-WEAP 2005

Input pemodelan yang digunakan adalah data tanah, data *hammer*, dan data tiang pancang untuk dimasukkan pada parameter tiang pancang, reaksi tanah dan *driving system*.

##### 4.7.1 Parameter Tiang Pancang

Dari Tabel 3.3 dapat ditentukan data input dalam program GRL-WEAP. Berikut pada Tabel 4.4 input untuk parameter tiang pancang.

**Tabel 4.4** Input parameter tiang pancang

Data	Besaran	Satuan
Panjang	81.26	m
Penetrasi	53.34	m
Section Area	866.45	cm <sup>2</sup>
Modulus El.	210000	Mpa
Spec. Weight	76.97	Kn/m <sup>3</sup>
Toe Area	11674.54	cm <sup>2</sup>
Perimeter	2.39	m
Pile Size	762	mm

Ketebalan pada pile bisa dilihat pada lampiran C dikarenakan terdapat perbedaan ketebalan pada tiang pancang.

#### 4.7.2 Parameter Reaksi Tanah

Untuk memperoleh input reaksi tanah, nilai yang digunakan merupakan nilai *unit skin friction* dan *end bearing* kondisi *unplugged* pada Tabel 4.1. Maka input reaksi tanah pada Tabel 4.5 dibawah ini :

**Tabel 4.5** Input Reaksi Tanah

Depth	Soil	Thickness	Unplugged	
			Unit Shaft Resistance	Toe Resistance
M	Type	m	kPa	Kn
0,0	CLAY		0	0.00
1,0	CLAY	1.00	4.416	7.80
1,0	CLAY		12.434	3.12

**Tabel 4.5** Input reaksi tanah (lanjutan)

Depth	Soil	Thickness	Unplugged	
			Unit Shaft Resistance	Toe Resistance
M	Type	m	kPa	Kn
5,0	CLAY	4.00	39.543	7.80
5,0	SAND		23.598	164.63
13,8	SAND	8.80	62.621	469.63
13,8	CLAY		108.756	194.96
16,4	CLAY	2.60	114.564	194.96
16,4	SAND		29.675	90.46
20,1	SAND	3.70	38.332	112.29
20,1	CLAY		136.769	233.95
22,7	CLAY	2.60	141.458	233.95
22,7	SAND		66.746	318.95
28,0	SAND	5.30	82.421	406.20
28,0	CLAY		94.785	116.97
35,0	CLAY	7.00	109.982	116.97
35,0	CLAY		163.437	257.34
36,0	CLAY	1.00	163.437	257.34
36,0	SAND		85.489	415.91
38,0	SAND	2.00	85.489	415.91
38,0	CLAY		117.243	124.77
41,0	CLAY	3.00	121.36	124.77
41,0	CLAY		163.78	249.54
44,0	CLAY	3.00	179.314	249.54
44,0	SAND		85.489	415.91
51,2	SAND	7.20	85.489	415.91
51,2	CLAY		156.779	171.56
53,0	CLAY	1.80	159.717	171.56
53,0	CLAY		183.34	233.95
55,0	CLAY	2.00	189.876	233.95
55,0	CLAY		97.765	831.81
69,3	SAND	14.30	97.765	831.81
69,3	SAND		231.872	272.94
70,0	CLAY	0.70	231.872	272.94

#### 4.7.3 Parameter Data *Hammer*

Input untuk parameter data *hammer* yang digunakan sesuai dengan data *hammer* pada Tabel 4.2, dikarenakan batter pada tiang pancang 1 : 0 (Lampiran C), maka efisiensi tetap sebesar 0.95 dan tidak ada pengurangan efisiensi.

#### 4.7.4 Driving System

Input yang digunakan dalam *driving system* merupakan interval kedalaman penetrasi yang akan dianalisa serta *pile make-up*, untuk nilai *stroke* dan efisiensi didapatkan sesuai dengan *hammer* yang digunakan dalam analisis, maka input *driving system* bisa di lihat pada Tabel 4.6 :

**Tabel 4.6** Input *driving system*

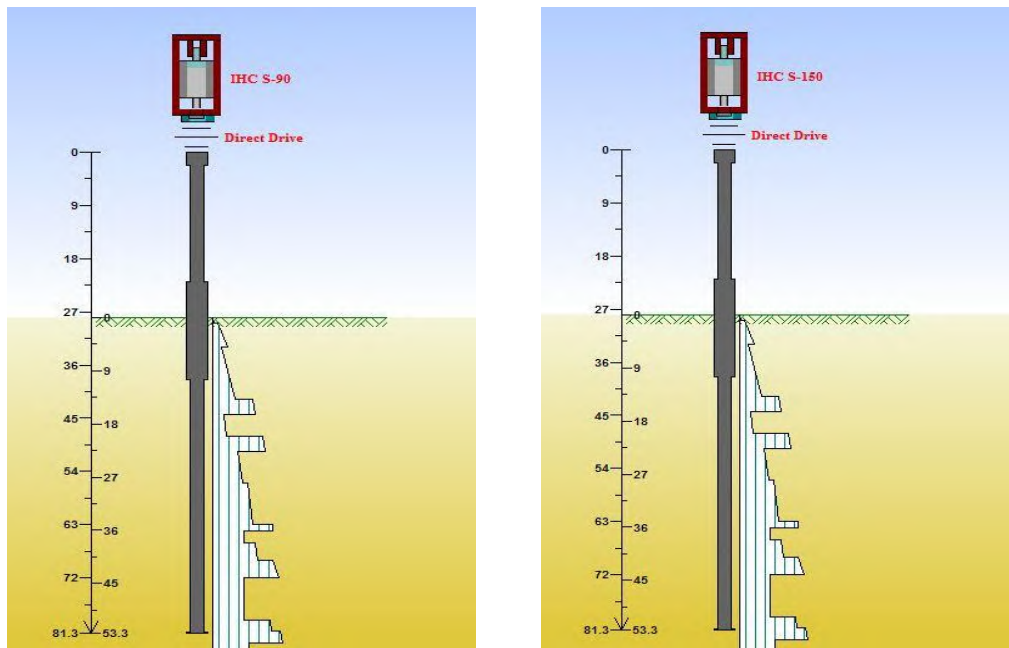
Depth	Temp Length	Wait Time	Stroke	Efficiency
m	m	hr	m	-
1	44.19	0	2.02	0.95
2	44.19	0	2.02	0.95
3	44.19	0	2.02	0.95
4	44.19	0	2.02	0.95
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
15	60.69	4	2.02	0.95
16	60.69	0	2.02	0.95
17	60.69	0	2.02	0.95
18	60.69	0	2.02	0.95
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
32	81.26	4	2.02	0.95
23	81.26	0	2.02	0.95
34	81.26	0	2.02	0.95
35	81.26	0	2.02	0.95
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
53.34	81.26	0	2.02	0.95

## 4.8 Hasil Pemodelan

### 4.8.1 Model GRL-WEAP

Model GRL-WEAP berikut ditunjukkan pada Gambar 4.3 :





**Gambar 4.3** Model GRL-WEAP

Analisis ini menggunakan dua jenis *hammer*, yaitu *hammer* IHC S-90 dan IHC S-150, kedua *hammer* tersebut merupakan *hammer* jenis hidrolik.

#### 4.8.2 *Blow-count*

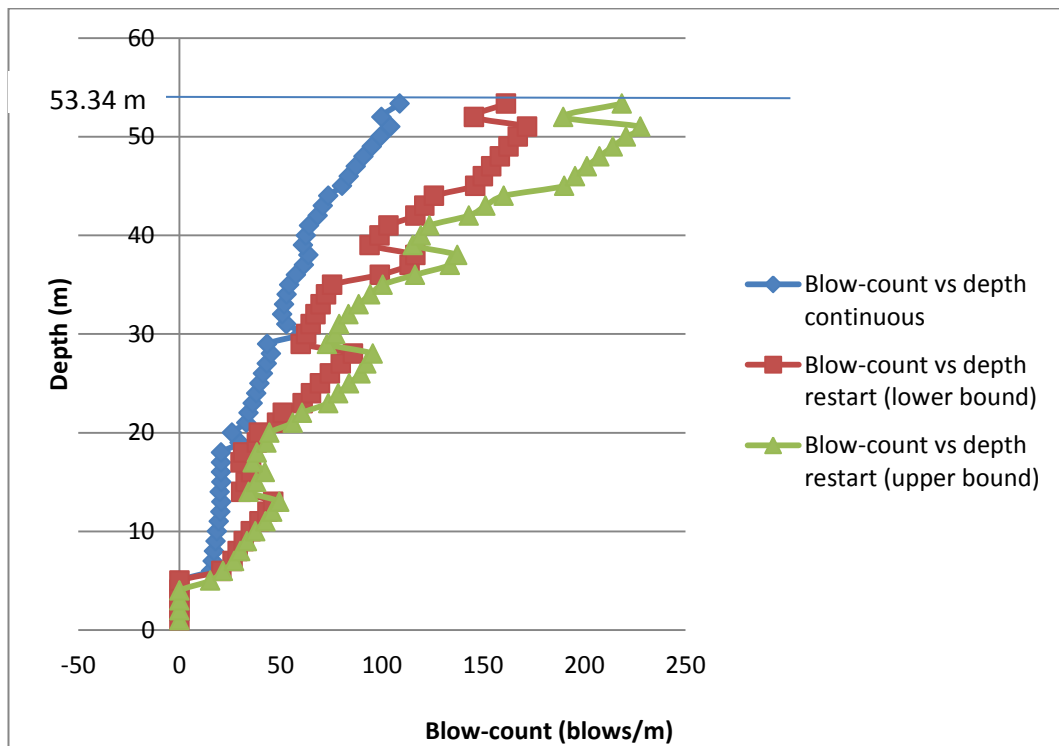
Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan GRL-WEAP 2005, maka didapatkan *output* dari program, yaitu *output* blow-count terbesar pada Tabel 4.7 di bawah ini :

Tabel 4.7 *Blow-count*

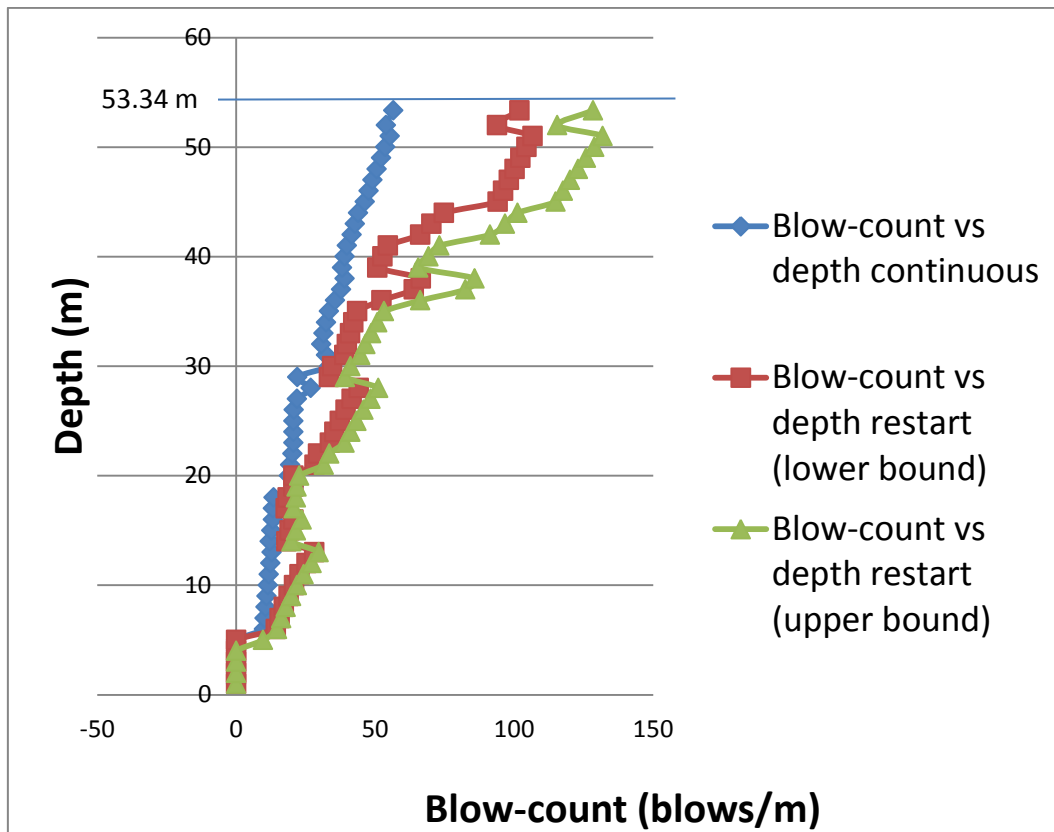
No	Description	Hammer Type	Hammer Efficiency (%)	Continuous Driving (blow/m)	Restart Condition (blow/m)	
					Lower Bound	Upper Bound
1	Pile A1	IHC-S90	95	108.8	171.8	227.7
2	Pile A1	IHC-S150	95	56.6	106.7	131.9

Pada Tabel 4.7 didapatkan nilai blow-count terbesar dengan jenis *hammer* yang berbeda, *hammer* jenis IHC S-150 memiliki *rated energy* yang lebih besar jika dibandingkan dengan jenis *hammer* IHC S-90 (Lampiran B), dan bisa disimpulkan bahwa semakin besar nilai *rated energy* pada *hammer* semakin kecil jumlah pukulan.

Pada kedua jenis *hammer* ini juga tidak mengalami *pile refusal* (Lampiran D) dikarenakan jumlah pukulan tidak melebihi 300 pukulan per 0.3 meter selama berturut-turut selama 1.5 meter. Dan di bawah ini bisa dilihat gambar 4.3 yang merupakan hubungan antara jumlah pukulan dengan kedalaman penetrasi yang menggunakan hammer IHC S-90, dan Gambar 4.4 yang merupakan hubungan antara jumlah pukulan dengan kedalaman penetrasi yang menggunakan hammer IHC S-150.



**Gambar 4.4** Grafik *blow-count vs depth* IHC S-90



**Gambar 4.5** Grafik *blow-count vs depth* IHC S-150

#### 4.8.3 *Driving Stress*

Setelah dilakukan analisa dengan mempertimbangkan nilai 46ias46r dari kriteria data tanah lokasi UL-A platform yang menggunakan GRLWEAP 2005, maka didapatkan output dari program, yaitu output *driving stress* pada Tabel 4.8 sampai Tabel 4.10.

**Tabel 4.8** *Driving stress* terbesar untuk kondisi *continuous*

No	Description	Hammer Type	Hammer Efficiency	Driving Stress (Mpa)
				Compression
1	Pile A1	IHC-S90	95	210.577
2	Pile A1	IHC-S150	95	248.309

**Tabel 4.9** *Driving stress* terbesar untuk kondisi *restart (lower bound)*

No	Description	Hammer Type	Hammer Efficiency	Driving Stress (Mpa)
				Compression
1	Pile A1	IHC-S90	95	210.578
2	Pile A1	IHC-S150	95	248.309

**Tabel 4.10** *Driving stress* terbesar untuk kondisi *restart (upper bound)*

No	Description	Hammer Type	Hammer Efficiency	Driving Stress (Mpa)
				Compression
1	Pile A1	IHC-S90	95	210.580
2	Pile A1	IHC-S150	95	248.309

Pada *API RP-2A WSD 2000*, *driving stress* tidak boleh melebihi 80-90% dari *yield stress*, jika batas *driving stress* pada analisa ini 90% *yield stress* atau 310 Mpa, maka nilai *driving stress* (Lampiran B) dengan menggunakan kedua jenis *hammer* tersebut masih bisa digunakan.

#### **4.9 Analisis Kerusakan Kelelahan Selama Pemancangan**

Metodologi dasar dalam melakukan analisa kerusakan kelelahan pada tiang pancang meliputi:

- Menggunakan output GRLWEAP, *blow-count* terhadap kedalaman dan jangkauan stres yang terkait,
- *Stress concentration factor* (SCF) yang sesuai dan kurva S-N yang dipilih,
- Menggunakan jumlah pukulan dan data berbagai stres, kerusakan pada tiang pancang dihitung. Aturan Palmgren-Miner kemudian diterapkan

untuk jumlah kerusakan tambahan dan memperoleh total kerusakan akibat driving.

- Setelah output dari GRL-WEAP didapatkan, maka perhitungan SCF yang sesuai dan pemilihan kurva S-N yang tepat dilakukan.

#### 4.9.1 Perhitungan *Stress Concentration Factor*

Pada perhitungan 48ias48r konsentrasi tegangan pada sambungan lasan butt tubular digunakan rumus sebagai berikut yang sesuai dengan persamaan 2.19 sesuai dengan *DNV RP-C203 2012* :

$$SCF = 1 + \frac{6(\delta_t + \delta_m - \delta_0)}{t} \frac{1}{1 + \left(\frac{T}{t}\right)^\beta} e^{-\alpha}$$

Dimana,

$$\alpha = \frac{1.82L}{\sqrt{Dt}} \frac{1}{\left(\frac{T}{t}\right)^\beta} ; \quad \beta = 1.5 - \frac{1.0}{\log\left(\frac{D}{t}\right)} + \frac{3.0}{\left[\log\left(\frac{D}{t}\right)\right]^2}$$

Maka nilai SCF pada sambungan lasan butt tubular sebesar 1.52 dengan mempertimbangkan nilai *eccentricity* ( $\delta_m$ ) sebesar 0. Sedangkan untuk nilai SCF yang tidak berada pada sambungan lasan butt tubular sama dengan 1.

#### 4.9.2 Pemilihan Kurva S-N

Pada analisa ini digunakan jenis sambungan las F (lihat gambar 2.12) sesuai dengan *DNV RP-C203 2012*, dengan kategori yang disebutkan pada gambar diatas, las butt tanpa penyangga dipertimbangkan dalam analisa ini yang menggunakan jenis sambungan las F3.

#### 4.9.3 Perhitungan Kerusakan Kelelahan Selama Pemancangan

Setelah jumlah pukulan dan data berbagai stres didapatkan, serta nilai SCF yang sudah diketahui, maka kerusakan kelelahan pada tiang pancang bisa dihitung dengan menggunakan aturan Palmgren-Miner kemudian diterapkan untuk jumlah kerusakan kelelahan akibat *driving* dan memperoleh total kerusakan kelelahan akibat driving dengan menggunakan persamaan 2.18 sesuai *DNV RP-C203 2012* dan untuk nilai siklus N sesuai *DNV RP-C203 2012* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$N = \frac{\bar{a}}{\left(\Delta\sigma \left(\frac{t}{t_{ref}}\right)^k\right)^m}$$

Dimana,

DNV RP-C203 oktober 2012		
Kurva F dan F3		
t	25.4	mm
tref	0.25	mm
k	0.1	
LOG a	m	
11,855	3	
15,091	5	
So	41.52	Mpa
No	1,00E+07	

Berikut total kerusakan kelelahan pada kondisi *continuous*, *restart (upper bound)*, *restart (lower bound)* dengan menggunakan *hammer* IHC S-90 dan *hammer* IHC S-150 serta kurva F dan F3 pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 :

**Tabel 4.11** Total kerusakan kelelahan dengan IHC S-90

DNV RP-C203 oktober 2012			
IHC S-90			
Kurva S-N	Total Damage		
-	Continuous	Restart	
		Lower Bound	Upper Bound
F	0.03	0.04	0.06
F3	0.15	0.25	0.31

**Tabel 4.12** Total kerusakan kelelahan dengan IHC S-150

DNV RP-C203 oktober 2012			
IHC S-150			
Kurva S-N	Total Damage		
-	Continuous	Restart	
		Lower Bound	Upper Bound
F	0.02	0.04	0.05
F3	0.13	0.22	0.27

Pada tabel diatas bisa disimpulkan bahwa total kerusakan kelelahan dengan menggunakan kurva F3 nilainya lebih besar dibandingkan dengan nilai total kerusakan kelelahan dengan menggunakan kurva F.

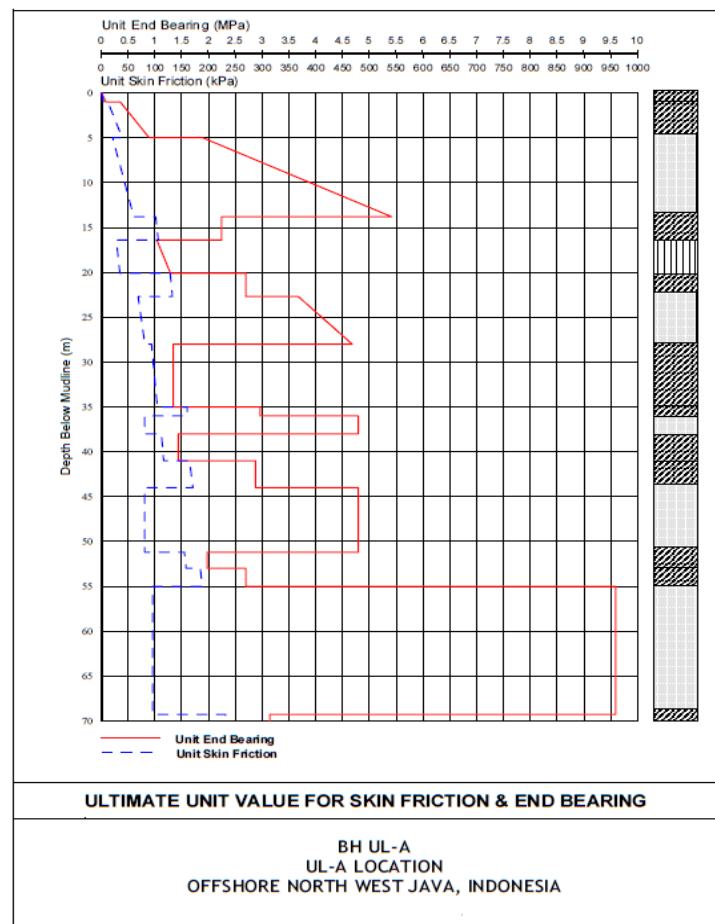
*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

**LAMPIRAN A**  
**DATA TANAH**



Location: BH UL-A				
Water Depth: 22.3m above LAT				
Layer	Depth Below Seabed (m)		Thickness (m)	Description
	From	To		
1.	0.0	1.0	1.0	Very soft silty CLAY
2.	1.0	5.0	4.0	Firm to stiff silty CLAY
3.	5.0	13.8	8.8	Very dense silty SAND
4.	13.8	16.4	2.6	Hard silty CLAY
5.	16.4	20.1	3.7	Dense clayey SILT
6.	20.1	22.7	2.6	Hard to very hard silty CLAY
7.	22.7	28.0	5.3	Dense silty SAND
8.	28.0	35.0	7.0	Very stiff silty CLAY
9.	35.0	36.0	1.0	Hard silty CLAY
10.	36.0	38.0	2.0	Dense silty SAND
11.	38.0	41.0	3.0	Very stiff silty CLAY
12.	41.0	44.0	3.0	Hard silty CLAY
13.	44.0	51.2	7.2	Dense silty SAND
14.	51.2	53.0	1.8	Hard silty CLAY
15.	53.0	55.0	2.0	Hard silty CLAY
16.	55.0	69.3	14.3	Dense to very dense silty SAND
17.	69.3	70.0	0.7	Hard silty CLAY

**Gambar 1.** Kondisi *subsoil*



**Gambar 2.** Nilai *unit skin friction* dan *unit end bearing*

**LAMPIRAN B**  
**DATA *HAMMER***

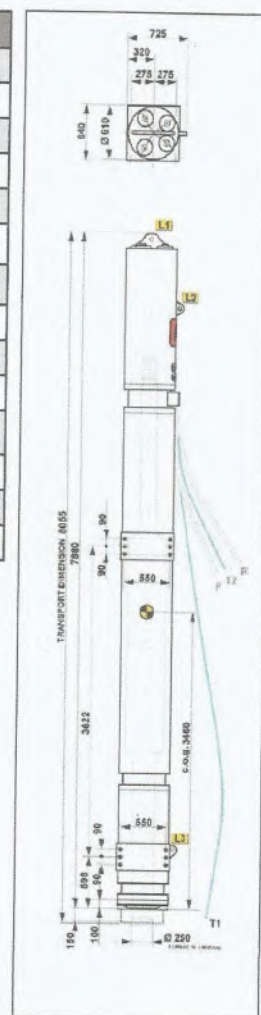
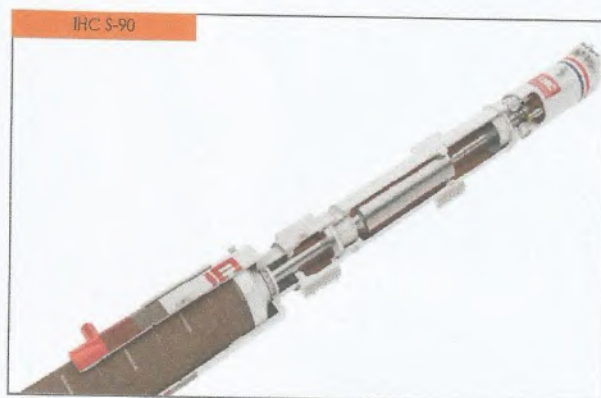


# IHC S-90 Hydrohammer

## SPECIFICATIONS

		S-90
Max. net energy/blow	kNm	90
Min. net energy/blow	kNm	2
Blow rate (max energy)	Blows/min	46
<b>Weights</b>		
Ram	†	4.5
Hammer (incl. Ram, in air)	†	9.65
Hammer (incl. Ram, in salt water) <sup>1</sup>	†	7.0
<b>Hydraulic data</b>		
Operating pressure	bar	280
Max. pressure	bar	350
Max. Oil flow	l/min	250
<b>Working load limit (WLL) and hole diameter</b>		
L1	†	25 Ø 52
L2	†	9 Ø 40

<sup>1</sup>Only if fully submerged



Construction and Piling Equipment Holland B.V.  
Romhof 5  
9411 SB Bellen T: +31 (0) 593 540 470  
The Netherlands F: +31 (0) 593 541 811

Info@cape-holland.com  
www.cape-holland.com

CH-DS\_IHC\_S-90.rev1

\*Specifications in this brochure are subject to change without notice

© Construction and Piling Equipment Holland B.V. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced and/or published in any manner whatsoever without prior written permission from Construction and Piling Equipment Holland B.V.



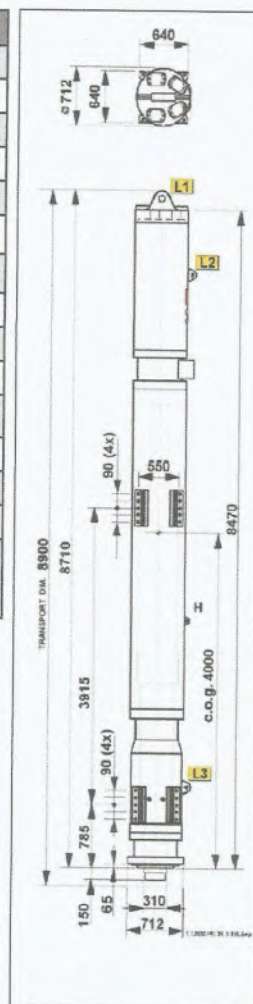
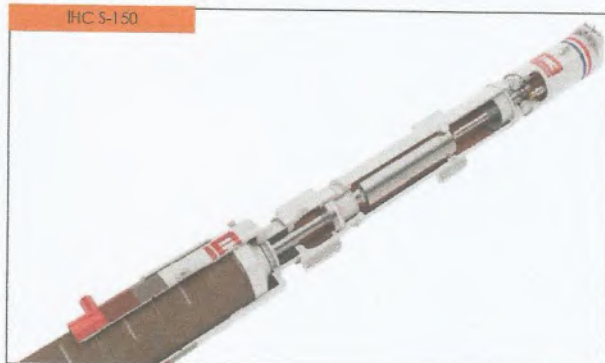


# IHC S-150 Hydrohammer

## SPECIFICATIONS

S-150		
Max. net energy/blow	kNm	150
Min. net energy/blow	kNm	6
Blow rate (max energy)	Blows/min	44
<b>Weights</b>		
Ram	†	7.5
Hammer (incl. Ram, in air)	†	16.2
Hammer (incl. Ram, in salt water) <sup>1</sup>	†	12.6
<b>Hydraulic data</b>		
Operating pressure	bar	280
Max. pressure	bar	350
Max. Oil flow	l/min	460
<b>Working load limit (WLL) and hole diameter</b>		
L1	†	mm 55 Ø 75
L2 / L3	†	mm 17 Ø 45
H	Not for lifting purposes! Connection for load carrying cable only	

<sup>1</sup>Only if fully submerged



Construction and Piling Equipment Holland B.V.  
Romhof 5  
9411 SB Bellen  
The Netherlands

T: +31(0) 593 540 470  
F: +31(0) 593 541 811

info@cape-holland.com  
www.cape-holland.com

CH-D5\_IHC\_S-150 rev1

\*Specifications in this brochure are subject to change without notice

© Construction and Piling Equipment Holland B.V. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced and/or published in any manner whatsoever without prior written permission from Construction and Piling Equipment Holland B.V.

**LAMPIRAN C**  
**DRAWING**



This drawing and the design it covers are the property of PT. PERTAMINA PHE ONWJ. It is to be used only for the project and location specified. It is not to be reproduced, copied, or used for any other purpose without the written consent of the owner.

CONTRACT NO. STC-0487  
WORK ORDER NO. N/A  
PROJECT TITLE : UL FIELD DEVELOPMENT

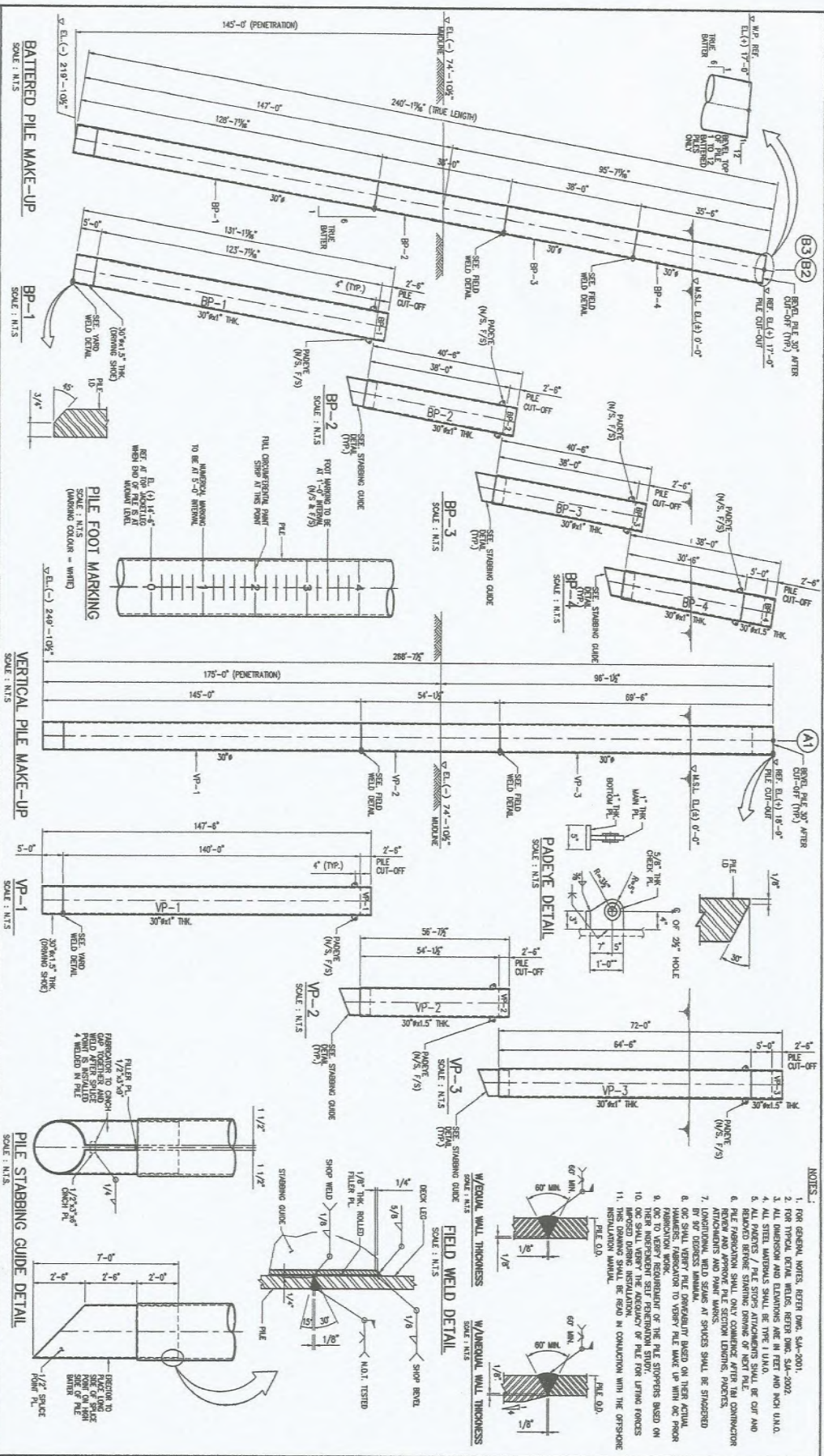
NO.	REV.	DATE	DESCRIPTION	BY	CHECKED	APPROVED
1		10/04/12	ISSUED FOR BID	SRG	UD/AN	SUR
2		10/04/12	ISSUED FOR APPROVAL	SRG	UD/AN	SUR
3		10/04/12	REVISED FOR REVIEW	SRG	UD/AN	SUR
4		10/04/12	FINAL FOR CONSTRUCTION	SRG	UD/AN	SUR

NO.	REV.	DATE	DESCRIPTION	BY	CHECKED	APPROVED
1		10/04/12	ISSUED FOR BID	SRG	UD/AN	SUR
2		10/04/12	ISSUED FOR APPROVAL	SRG	UD/AN	SUR
3		10/04/12	REVISED FOR REVIEW	SRG	UD/AN	SUR
4		10/04/12	FINAL FOR CONSTRUCTION	SRG	UD/AN	SUR

NO.	REV.	DATE	DESCRIPTION	BY	CHECKED	APPROVED
1		10/04/12	ISSUED FOR BID	SRG	UD/AN	SUR
2		10/04/12	ISSUED FOR APPROVAL	SRG	UD/AN	SUR
3		10/04/12	REVISED FOR REVIEW	SRG	UD/AN	SUR
4		10/04/12	FINAL FOR CONSTRUCTION	SRG	UD/AN	SUR

NO.	REV.	DATE	DESCRIPTION	BY	CHECKED	APPROVED
1		10/04/12	ISSUED FOR BID	SRG	UD/AN	SUR
2		10/04/12	ISSUED FOR APPROVAL	SRG	UD/AN	SUR
3		10/04/12	REVISED FOR REVIEW	SRG	UD/AN	SUR
4		10/04/12	FINAL FOR CONSTRUCTION	SRG	UD/AN	SUR

NO.	REV.	DATE	DESCRIPTION	BY	CHECKED	APPROVED
1		10/04/12	ISSUED FOR BID	SRG	UD/AN	SUR
2		10/04/12	ISSUED FOR APPROVAL	SRG	UD/AN	SUR
3		10/04/12	REVISED FOR REVIEW	SRG	UD/AN	SUR
4		10/04/12	FINAL FOR CONSTRUCTION	SRG	UD/AN	SUR



**LAMPIRAN D**  
***OUTPUT* GRL-WEAP**

**Tabel 1.** Output GRL-WEAP kondisi *continuous* IHC S-90

ULA PILE A1 (30 INCH) IHC S-90						2016 Jul 30 GRLWEAP(TM) Version 2005				
Gain/Loss 1 at Shaft and Toe 0.500 / 1.000										
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ		
1.0	10.4	2.6	7.8	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
2.0	25.9	21.6	4.3	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
3.0	54.1	48.6	5.5	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
4.0	90.4	83.8	6.6	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
5.0	134.9	127.1	7.8	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
6.0	357.3	158.0	199.3	15.7	187.559	-17.129	2.02	82.9		
7.0	428.1	194.2	233.9	16.4	187.559	-17.009	2.02	82.9		
8.0	504.3	235.7	268.6	17.1	187.559	-16.887	2.02	82.9		
9.0	585.8	282.5	303.3	17.8	187.559	-16.759	2.02	82.9		
10.0	672.6	334.7	337.9	18.5	187.559	-16.624	2.02	82.9		
11.0	764.7	392.1	372.6	19.4	187.559	-16.481	2.02	82.9		
12.0	862.1	454.8	407.2	20.3	187.559	-16.329	2.02	82.9		
13.0	964.8	522.9	441.9	20.7	187.559	-16.170	2.02	82.9		
14.0	802.2	607.3	195.0	19.9	187.559	-16.473	2.02	82.9		
15.0	934.3	739.3	195.0	20.7	187.559	-16.280	2.02	82.9		
16.0	1069.0	874.0	195.0	20.6	187.559	-16.088	2.02	82.9		
17.0	1044.5	950.5	94.0	20.6	187.559	-16.168	2.02	82.9		
18.0	1089.0	989.1	99.9	20.6	187.559	-16.145	2.02	82.9		
19.0	1865.0	1759.2	105.8	29.7	204.022	-15.958	2.02	80.9		
20.0	1419.7	1308.0	111.7	25.9	204.022	-16.879	2.02	80.9		
21.0	1492.3	1258.4	233.9	33.1	204.022	-16.737	2.02	80.9		
22.0	1628.2	1394.2	233.9	34.2	204.022	-16.476	2.02	80.9		
23.0	1884.4	1560.5	323.9	36.3	204.022	-15.963	2.02	80.9		
24.0	2066.3	1726.0	340.4	37.9	204.022	-15.610	2.02	80.9		
25.0	2255.3	1898.5	356.8	39.5	204.022	-15.248	2.02	80.9		
26.0	2451.4	2078.1	373.3	41.3	204.022	-14.879	2.02	80.9		
27.0	2654.6	2264.8	389.7	43.2	204.022	-14.503	2.02	80.9		
28.0	2864.8	2458.6	406.2	45.3	204.022	-14.117	2.02	80.9		
29.0	2690.3	2573.3	117.0	43.4	204.022	-14.543	2.02	80.9		
30.0	4044.4	3927.4	117.0	59.8	204.022	-13.059	2.02	80.9		
31.0	3322.9	3206.0	117.0	52.8	210.573	-12.706	2.02	82.9		
32.0	3075.5	2958.5	117.0	50.7	210.574	-12.926	2.02	82.9		
33.0	3175.3	3058.4	117.0	51.8	210.574	-13.020	2.02	82.9		
34.0	3303.1	3186.1	117.0	53.0	210.574	-13.081	2.02	82.9		
35.0	3433.4	3316.5	117.0	54.3	210.574	-13.147	2.02	82.9		
36.0	3769.4	3512.1	257.3	57.6	210.574	-12.881	2.02	82.9		
37.0	4132.7	3716.8	415.9	61.6	210.574	-12.571	2.02	82.9		
38.0	4337.3	3921.4	415.9	63.7	210.574	-12.436	2.02	82.9		
39.0	4187.4	4062.6	124.8	61.0	210.574	-12.855	2.02	82.9		
40.0	4330.2	4205.4	124.8	62.5	210.574	-12.777	2.02	82.9		
41.0	4474.6	4349.8	124.8	64.0	210.574	-12.700	2.02	82.9		
42.0	4798.5	4549.0	249.5	68.3	210.574	-12.327	2.02	82.9		
43.0	5003.9	4754.3	249.5	70.8	210.574	-12.153	2.02	82.9		
44.0	5215.4	4965.9	249.5	73.5	210.575	-11.975	2.02	82.9		
45.0	5586.4	5170.5	415.9	80.3	210.575	-11.650	2.02	82.9		
46.0	5791.1	5375.2	415.9	83.6	210.575	-11.590	2.02	82.9		
47.0	5995.8	5579.8	415.9	87.1	210.575	-11.546	2.02	82.9		
48.0	6200.4	5784.5	415.9	90.9	210.576	-11.388	2.02	82.9		
49.0	6405.1	5989.2	415.9	95.0	210.576	-11.234	2.02	82.9		
50.0	6609.7	6193.8	415.9	99.4	210.576	-11.212	2.02	82.9		
51.0	6814.4	6398.5	415.9	104.3	210.576	-11.200	2.02	82.9		
52.0	6761.7	6590.2	171.6	99.8	210.577	-11.612	2.02	82.9		
53.3	7089.2	6855.2	233.9	108.8	210.577	-11.495	2.02	82.9		
Total Number of Blows: 2394										
Driving Time (min):	79	59	47	39	34	29	26	23	21	19
@Blow Rate (b/min):	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included										



**Tabel 2. Output GRL-WEAP kondisi restart (lower bound) IHC S-90**

2016 Jul 30  
 ULA PILE A1 (30 INCH) IHC S-90 GRLWEAP(TM) Version 2005

Gain/Loss 2 at Shaft and Toe 0.750 / 5.260

Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
1.0	45.0	4.0	41.0	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
2.0	54.9	32.4	22.6	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
3.0	101.7	72.9	28.7	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
4.0	160.6	125.7	34.9	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
5.0	231.6	190.6	41.0	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
6.0	1285.2	236.9	1048.3	20.8	187.559	-15.488	2.02	82.9
7.0	1521.8	291.3	1230.6	26.3	187.559	-15.075	2.02	82.9
8.0	1766.4	353.5	1412.9	28.8	187.559	-14.670	2.02	82.9
9.0	2019.0	423.8	1595.2	31.8	187.559	-14.254	2.02	82.9
10.0	2279.5	502.0	1777.5	35.3	187.559	-13.827	2.02	82.9
11.0	2547.9	588.1	1959.8	39.5	187.559	-13.384	2.02	82.9
12.0	2824.4	682.3	2142.1	43.5	187.559	-12.931	2.02	82.9
13.0	3108.8	784.3	2324.4	46.4	187.559	-12.471	2.02	82.9
14.0	1936.4	910.9	1025.5	30.5	187.559	-14.617	2.02	82.9
15.0	2134.5	1109.0	1025.5	32.8	187.559	-14.325	2.02	82.9
16.0	2336.5	1311.1	1025.5	35.5	187.559	-14.041	2.02	82.9
17.0	1920.2	1425.7	494.4	30.2	187.559	-14.845	2.02	82.9
18.0	2009.1	1483.6	525.5	31.5	187.559	-14.785	2.02	82.9
19.0	2102.3	1545.8	556.5	38.3	204.022	-15.457	2.02	80.9
20.0	2199.6	1612.1	587.5	39.3	204.022	-15.288	2.02	80.9
21.0	3071.8	1841.2	1230.6	48.3	204.022	-13.511	2.02	80.9
22.0	3321.9	2091.4	1230.6	51.1	204.022	-13.027	2.02	80.9
23.0	4020.3	2316.6	1703.7	60.9	204.022	-11.602	2.02	80.9
24.0	4272.3	2482.1	1790.2	65.0	204.022	-11.233	2.02	80.9
25.0	4531.5	2654.6	1876.8	69.4	204.022	-11.123	2.02	80.9
26.0	4797.7	2834.2	1963.4	74.4	204.022	-10.877	2.02	80.9
27.0	5071.0	3020.9	2050.0	79.8	204.022	-10.491	2.02	80.9
28.0	5351.3	3214.7	2136.6	85.8	204.022	-10.091	2.02	80.9
29.0	4002.1	3386.8	615.3	60.0	204.022	-12.430	2.02	80.9
30.0	4178.1	3562.9	615.3	62.6	204.022	-12.465	2.02	80.9
31.0	4358.1	3742.8	615.3	64.9	210.574	-11.603	2.02	82.9
32.0	4541.9	3926.6	615.3	67.3	210.574	-11.657	2.02	82.9
33.0	4729.6	4114.4	615.3	69.8	210.574	-11.600	2.02	82.9
34.0	4921.3	4306.0	615.3	72.5	210.574	-11.539	2.02	82.9
35.0	5116.8	4501.5	615.3	75.5	210.574	-11.469	2.02	82.9
36.0	6148.6	4795.0	1353.6	99.0	210.574	-10.008	2.02	82.9
37.0	7187.3	4999.6	2187.7	113.8	210.574	-8.533	2.02	82.9
38.0	7392.0	5204.3	2187.7	116.6	210.574	-8.430	2.02	82.9
39.0	6072.3	5416.0	656.3	93.9	210.574	-10.883	2.02	82.9
40.0	6286.5	5630.2	656.3	98.9	210.574	-10.769	2.02	82.9
41.0	6503.2	5846.9	656.3	103.3	210.574	-10.700	2.02	82.9
42.0	7458.2	6145.6	1312.6	116.5	210.575	-9.499	2.02	82.9
43.0	7766.2	6453.6	1312.6	121.0	210.575	-9.331	2.02	82.9
44.0	8083.5	6770.9	1312.6	125.8	210.575	-9.106	2.02	82.9
45.0	9163.3	6975.6	2187.7	146.1	210.575	-8.980	2.02	82.9
46.0	9368.0	7180.3	2187.7	150.0	210.576	-8.851	2.02	82.9
47.0	9572.6	7384.9	2187.7	154.1	210.576	-8.640	2.02	82.9
48.0	9777.3	7589.6	2187.7	158.3	210.576	-8.377	2.02	82.9
49.0	9981.9	7794.3	2187.7	162.6	210.577	-8.072	2.02	82.9
50.0	10186.6	7998.9	2187.7	167.2	210.577	-7.938	2.02	82.9
51.0	10391.3	8203.6	2187.7	171.8	210.577	-7.899	2.02	82.9
52.0	9373.1	8470.6	902.4	145.6	210.578	-9.955	2.02	82.9
53.3	10098.8	8868.2	1230.6	161.3	210.578	-9.110	2.02	82.9

Total Number of Blows: 3894

Driving Time (min): 129 97 77 64 55 48 43 38 35 32  
 @Blow Rate (b/min): 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included

**Tabel 3. Output GRL-WEAP kondisi *restart (upper bound)* IHC S-90**

ULA PILE A1 (30 INCH) IHC S-90 2016 Jul 30  
GRLWEAP(TM) Version 2005

Gain/Loss 3 at Shaft and Toe 1.000 / 5.260

Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ
1.0	46.3	5.3	41.0	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
2.0	65.7	43.2	22.6	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
3.0	126.0	97.3	28.7	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
4.0	202.5	167.6	34.9	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0
5.0	295.2	254.1	41.0	15.2	187.559	-17.233	2.02	82.9
6.0	1364.2	315.9	1048.3	21.5	187.559	-15.349	2.02	82.9
7.0	1618.9	388.4	1230.6	27.1	187.559	-14.917	2.02	82.9
8.0	1884.3	471.4	1412.9	30.0	187.559	-14.488	2.02	82.9
9.0	2160.2	565.0	1595.2	33.4	187.559	-14.045	2.02	82.9
10.0	2446.8	669.3	1777.5	37.5	187.559	-13.584	2.02	82.9
11.0	2744.0	784.2	1959.8	42.5	187.559	-13.105	2.02	82.9
12.0	3051.8	909.7	2142.1	45.8	187.559	-12.615	2.02	82.9
13.0	3370.2	1045.8	2324.4	49.3	187.559	-12.111	2.02	82.9
14.0	2240.0	1214.5	1025.5	34.2	187.559	-14.205	2.02	82.9
15.0	2504.1	1478.6	1025.5	37.9	187.559	-13.821	2.02	82.9
16.0	2773.6	1748.1	1025.5	42.2	187.559	-13.442	2.02	82.9
17.0	2395.4	1901.0	494.4	36.2	187.559	-14.218	2.02	82.9
18.0	2503.7	1978.2	525.5	38.3	187.559	-14.151	2.02	82.9
19.0	2617.5	2061.0	556.5	43.0	204.022	-14.410	2.02	80.9
20.0	2737.0	2149.4	587.5	44.4	204.022	-14.215	2.02	80.9
21.0	3685.6	2455.0	1230.6	56.0	204.022	-12.287	2.02	80.9
22.0	4019.0	2788.5	1230.6	60.6	204.022	-11.647	2.02	80.9
23.0	4776.4	3072.7	1703.7	73.6	204.022	-10.514	2.02	80.9
24.0	5028.4	3238.2	1790.2	78.5	204.022	-10.506	2.02	80.9
25.0	5287.6	3410.7	1876.8	83.9	204.022	-10.504	2.02	80.9
26.0	5553.8	3590.3	1963.4	89.5	204.022	-10.317	2.02	80.9
27.0	5827.1	3777.0	2050.0	92.4	204.022	-9.951	2.02	80.9
28.0	6107.4	3970.8	2136.6	95.5	204.022	-9.568	2.02	80.9
29.0	4815.6	4200.3	615.3	72.9	204.022	-11.844	2.02	80.9
30.0	5050.3	4435.1	615.3	77.0	204.023	-11.887	2.02	80.9
31.0	5290.2	4675.0	615.3	79.0	210.574	-11.102	2.02	82.9
32.0	5535.3	4920.1	615.3	83.5	210.574	-11.144	2.02	82.9
33.0	5785.6	5170.4	615.3	88.6	210.574	-10.957	2.02	82.9
34.0	6041.1	5425.9	615.3	94.2	210.574	-10.749	2.02	82.9
35.0	6301.8	5686.6	615.3	100.5	210.574	-10.537	2.02	82.9
36.0	7431.5	6077.9	1353.6	116.4	210.574	-9.010	2.02	82.9
37.0	8470.2	6282.5	2187.7	133.7	210.574	-9.157	2.02	82.9
38.0	8674.9	6487.2	2187.7	137.3	210.574	-9.249	2.02	82.9
39.0	7425.8	6769.5	656.3	115.3	210.574	-10.144	2.02	82.9
40.0	7711.4	7055.1	656.3	119.3	210.574	-10.048	2.02	82.9
41.0	8000.3	7344.0	656.3	123.6	210.575	-9.960	2.02	82.9
42.0	9054.9	7742.3	1312.6	143.0	210.575	-9.150	2.02	82.9
43.0	9465.5	8153.0	1312.6	151.2	210.575	-8.941	2.02	82.9
44.0	9888.6	8576.0	1312.6	160.2	210.576	-8.601	2.02	82.9
45.0	10968.4	8780.7	2187.7	190.1	210.576	-7.839	2.02	82.9
46.0	11173.0	8985.4	2187.7	195.5	210.576	-7.374	2.02	82.9
47.0	11377.7	9190.0	2187.7	201.3	210.577	-7.119	2.02	82.9
48.0	11582.4	9394.7	2187.7	207.6	210.577	-7.010	2.02	82.9
49.0	11787.0	9599.3	2187.7	214.1	210.578	-7.279	2.02	82.9
50.0	11991.7	9804.0	2187.7	220.7	210.578	-7.582	2.02	82.9
51.0	12196.4	10008.7	2187.7	227.7	210.578	-7.516	2.02	82.9
52.0	11253.5	10351.1	902.4	189.6	210.579	-9.468	2.02	82.9
53.3	12111.8	10881.2	1230.6	218.6	210.580	-8.393	2.02	82.9

Total Number of Blows: 4825

Driving Time (min): 160 120 96 80 68 60 53 48 43 40

@Blow Rate (b/min): 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included

**Tabel 4.** Output GRL-WEAP kondisi *continuous* IHC S-150

2016 Jul 30										
ULA PILE A1 (30 INCH) IHC S-150				GRLWEAP(TM) Version 2005						
Gain/Loss 1 at Shaft and Toe 0.500 / 1.000										
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ		
1.0	10.4	2.6	7.8	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
2.0	25.9	21.6	4.3	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
3.0	54.1	48.6	5.5	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
4.0	90.4	83.8	6.6	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
5.0	134.9	127.1	7.8	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
6.0	357.3	158.0	199.3	10.0	215.104	-20.851	2.02	138.9		
7.0	428.1	194.2	233.9	10.3	215.128	-20.738	2.02	138.9		
8.0	504.3	235.7	268.6	10.6	214.943	-20.617	2.02	138.9		
9.0	585.8	282.5	303.3	11.0	214.719	-20.486	2.02	138.9		
10.0	672.6	334.7	337.9	11.4	214.498	-20.343	2.02	138.9		
11.0	764.7	392.1	372.6	11.8	214.283	-20.198	2.02	138.9		
12.0	862.1	454.8	407.2	12.3	214.052	-20.044	2.02	138.9		
13.0	964.8	522.9	441.9	12.8	213.812	-19.879	2.02	138.9		
14.0	802.2	607.3	195.0	12.1	213.505	-20.179	2.02	138.9		
15.0	934.3	739.3	195.0	12.7	213.258	-19.966	2.02	138.9		
16.0	1069.0	874.0	195.0	13.3	212.984	-19.750	2.02	138.9		
17.0	1044.5	950.5	94.0	13.3	212.666	-19.814	2.02	138.9		
18.0	1089.0	989.1	99.9	13.5	212.339	-19.764	2.02	138.9		
19.0	1865.0	1759.2	105.8	20.7	248.308	-20.806	2.02	139.1		
20.0	1419.7	1308.0	111.7	19.0	248.308	-21.738	2.02	139.1		
21.0	1492.3	1258.4	233.9	19.5	248.309	-21.603	2.02	139.1		
22.0	1628.2	1394.2	233.9	20.3	248.309	-21.336	2.02	139.1		
23.0	1884.4	1560.5	323.9	20.6	248.309	-20.815	2.02	139.1		
24.0	2066.3	1726.0	340.4	20.6	248.308	-20.455	2.02	139.1		
25.0	2255.3	1898.5	356.8	20.6	248.308	-20.091	2.02	139.1		
26.0	2451.4	2078.1	373.3	20.7	248.309	-19.710	2.02	139.1		
27.0	2654.6	2264.8	389.7	21.9	248.308	-19.320	2.02	139.1		
28.0	2864.8	2458.6	406.2	26.8	248.309	-18.922	2.02	139.1		
29.0	2690.3	2573.3	117.0	22.0	248.309	-19.334	2.02	139.1		
30.0	4044.4	3927.4	117.0	33.5	248.308	-16.935	2.02	139.1		
31.0	3322.9	3206.0	117.0	32.4	236.990	-16.548	2.02	138.0		
32.0	3075.5	2958.5	117.0	30.6	236.990	-16.860	2.02	138.0		
33.0	3175.3	3058.4	117.0	31.4	236.990	-16.826	2.02	138.0		
34.0	3303.1	3186.1	117.0	32.4	236.990	-16.740	2.02	138.0		
35.0	3433.4	3316.5	117.0	33.4	236.990	-16.640	2.02	138.0		
36.0	3769.4	3512.1	257.3	35.6	236.990	-16.171	2.02	138.0		
37.0	4132.7	3716.8	415.9	37.8	236.990	-15.635	2.02	138.0		
38.0	4337.3	3921.4	415.9	39.0	236.990	-15.377	2.02	138.0		
39.0	4187.4	4062.6	124.8	38.1	236.990	-15.734	2.02	138.0		
40.0	4330.2	4205.4	124.8	39.0	236.990	-15.583	2.02	138.0		
41.0	4474.6	4349.8	124.8	39.9	236.990	-15.435	2.02	138.0		
42.0	4798.5	4549.0	249.5	41.6	236.990	-14.993	2.02	138.0		
43.0	5003.9	4754.3	249.5	42.7	236.990	-14.766	2.02	138.0		
44.0	5215.4	4965.9	249.5	43.9	236.990	-14.531	2.02	138.0		
45.0	5586.4	5170.5	415.9	46.3	236.991	-14.012	2.02	138.0		
46.0	5791.1	5375.2	415.9	47.7	236.991	-13.783	2.02	138.0		
47.0	5995.8	5579.8	415.9	49.1	236.991	-13.565	2.02	138.0		
48.0	6200.4	5784.5	415.9	50.6	236.991	-13.362	2.02	138.0		
49.0	6405.1	5989.2	415.9	52.2	236.991	-13.160	2.02	138.0		
50.0	6609.7	6193.8	415.9	53.7	236.991	-12.961	2.02	138.0		
51.0	6814.4	6398.5	415.9	55.3	236.991	-12.747	2.02	138.0		
52.0	6761.7	6590.2	171.6	53.9	236.992	-12.952	2.02	138.0		
53.3	7089.2	6855.2	233.9	56.6	236.992	-12.602	2.02	138.0		
Total Number of Blows: 1393										
Driving Time (min):	46	34	27	23	19	17	15	13	12	11
@Blow Rate (b/min):	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included										

**Tabel 5. Output GRL-WEAP kondisi restart (lower bound) IHC S-150**

ULA PILE A1 (30 INCH) IHC S-150						2016 Jul 30 GRLWEAP(TM) Version 2005				
Gain/Loss 2 at Shaft and Toe 0.750 / 5.260										
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ		
1.0	45.0	4.0	41.0	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
2.0	54.9	32.4	22.6	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
3.0	101.7	72.9	28.7	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
4.0	160.6	125.7	34.9	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
5.0	231.6	190.6	41.0	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0		
6.0	1285.2	236.9	1048.3	14.3	215.199	-19.195	2.02	138.9		
7.0	1521.8	291.3	1230.6	15.7	215.373	-18.792	2.02	138.9		
8.0	1766.4	353.5	1412.9	17.2	215.225	-18.375	2.02	138.9		
9.0	2019.0	423.8	1595.2	18.9	214.970	-17.947	2.02	138.9		
10.0	2279.5	502.0	1777.5	20.8	214.718	-17.496	2.02	138.9		
11.0	2547.9	588.1	1959.8	22.8	214.475	-17.026	2.02	138.9		
12.0	2824.4	682.3	2142.1	25.3	214.223	-16.547	2.02	138.9		
13.0	3108.8	784.3	2324.4	28.1	213.953	-16.051	2.02	138.9		
14.0	1936.4	910.9	1025.5	18.1	213.645	-18.218	2.02	138.9		
15.0	2134.5	1109.0	1025.5	19.3	213.348	-17.877	2.02	138.9		
16.0	2336.5	1311.1	1025.5	20.6	213.031	-17.533	2.02	138.9		
17.0	1920.2	1425.7	494.4	17.9	212.694	-18.324	2.02	138.9		
18.0	2009.1	1483.6	525.5	18.5	212.359	-18.199	2.02	138.9		
19.0	2102.3	1545.8	556.5	20.6	248.308	-20.311	2.02	139.1		
20.0	2199.6	1612.1	587.5	20.6	248.308	-20.138	2.02	139.1		
21.0	3071.8	1841.2	1230.6	28.2	248.308	-18.350	2.02	139.1		
22.0	3321.9	2091.4	1230.6	29.5	248.309	-17.859	2.02	139.1		
23.0	4020.3	2316.6	1703.7	33.8	248.309	-16.424	2.02	139.1		
24.0	4272.3	2482.1	1790.2	35.4	248.309	-15.932	2.02	139.1		
25.0	4531.5	2654.6	1876.8	37.3	248.309	-15.434	2.02	139.1		
26.0	4797.7	2834.2	1963.4	39.4	248.309	-14.931	2.02	139.1		
27.0	5071.0	3020.9	2050.0	41.6	248.309	-14.416	2.02	139.1		
28.0	5351.3	3214.7	2136.6	44.1	248.309	-13.897	2.02	139.1		
29.0	4002.1	3386.8	615.3	33.4	248.309	-16.813	2.02	139.1		
30.0	4178.1	3562.9	615.3	34.6	248.309	-16.547	2.02	139.1		
31.0	4358.1	3742.8	615.3	38.9	236.990	-15.126	2.02	138.0		
32.0	4541.9	3926.6	615.3	39.9	236.990	-14.956	2.02	138.0		
33.0	4729.6	4114.4	615.3	41.0	236.990	-14.787	2.02	138.0		
34.0	4921.3	4306.0	615.3	42.2	236.990	-14.611	2.02	138.0		
35.0	5116.8	4501.5	615.3	43.5	236.990	-14.428	2.02	138.0		
36.0	6148.6	4795.0	1353.6	52.3	236.990	-12.770	2.02	138.0		
37.0	7187.3	4999.6	2187.7	63.9	236.990	-11.097	2.02	138.0		
38.0	7392.0	5204.3	2187.7	66.5	236.990	-10.897	2.02	138.0		
39.0	6072.3	5416.0	656.3	50.8	236.990	-13.354	2.02	138.0		
40.0	6286.5	5630.2	656.3	52.6	236.990	-13.130	2.02	138.0		
41.0	6503.2	5846.9	656.3	54.6	236.990	-12.919	2.02	138.0		
42.0	7458.2	6145.6	1312.6	66.2	236.990	-11.454	2.02	138.0		
43.0	7766.2	6453.6	1312.6	70.3	236.991	-11.117	2.02	138.0		
44.0	8083.5	6770.9	1312.6	74.8	236.991	-10.774	2.02	138.0		
45.0	9163.3	6975.6	2187.7	94.1	236.991	-9.231	2.02	138.0		
46.0	9368.0	7180.3	2187.7	96.1	236.991	-9.198	2.02	138.0		
47.0	9572.6	7384.9	2187.7	98.1	236.991	-9.229	2.02	138.0		
48.0	9777.3	7589.6	2187.7	100.2	236.992	-9.235	2.02	138.0		
49.0	9981.9	7794.3	2187.7	102.3	236.992	-9.211	2.02	138.0		
50.0	10186.6	7998.9	2187.7	104.5	236.992	-9.155	2.02	138.0		
51.0	10391.3	8203.6	2187.7	106.7	236.992	-9.050	2.02	138.0		
52.0	9373.1	8470.6	902.4	93.9	236.993	-10.721	2.02	138.0		
53.3	10098.8	8868.2	1230.6	102.0	236.993	-10.157	2.02	138.0		
Total Number of Blows: 2294										
Driving Time (min):	76	57	45	38	32	28	25	22	20	19
@Blow Rate (b/min):	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included										

**Tabel 6. Output GRL-WEAP kondisi restart (upper bound) IHC S-150**

									2016 Jul 30
ULA PILE A1 (30 INCH) IHC S-150									GRLWEAP(TM) Version 2005
Gain/Loss 3 at Shaft and Toe 1.000 / 5.260									
Depth m	Ultimate Capacity kN	Friction kN	End Bearing kN	Blow Count blows/m	Comp. Stress MPa	Tension Stress MPa	Stroke m	ENTHRU kJ	
1.0	46.3	5.3	41.0	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0	
2.0	65.7	43.2	22.6	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0	
3.0	126.0	97.3	28.7	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0	
4.0	202.5	167.6	34.9	0.0	0.000	0.000	2.02	0.0	
5.0	295.2	254.1	41.0	9.7	215.018	-20.944	2.02	138.9	
6.0	1364.2	315.9	1048.3	14.7	215.257	-19.067	2.02	138.9	
7.0	1618.9	388.4	1230.6	16.2	215.507	-18.639	2.02	138.9	
8.0	1884.3	471.4	1412.9	17.9	215.323	-18.199	2.02	138.9	
9.0	2160.2	565.0	1595.2	19.8	215.065	-17.739	2.02	138.9	
10.0	2446.8	669.3	1777.5	21.9	214.811	-17.249	2.02	138.9	
11.0	2744.0	784.2	1959.8	24.3	214.567	-16.729	2.02	138.9	
12.0	3051.8	909.7	2142.1	27.2	214.311	-16.193	2.02	138.9	
13.0	3370.2	1045.8	2324.4	29.7	214.038	-15.629	2.02	138.9	
14.0	2240.0	1214.5	1025.5	19.9	213.728	-17.719	2.02	138.9	
15.0	2504.1	1478.6	1025.5	21.6	213.428	-17.252	2.02	138.9	
16.0	2773.6	1748.1	1025.5	23.6	213.109	-16.788	2.02	138.9	
17.0	2395.4	1901.0	494.4	20.7	212.762	-17.515	2.02	138.9	
18.0	2503.7	1978.2	525.5	21.6	212.404	-17.359	2.02	138.9	
19.0	2617.5	2061.0	556.5	21.8	248.309	-19.248	2.02	139.1	
20.0	2737.0	2149.4	587.5	22.7	248.308	-19.041	2.02	139.1	
21.0	3685.6	2455.0	1230.6	31.6	248.309	-17.106	2.02	139.1	
22.0	4019.0	2788.5	1230.6	33.5	248.309	-16.454	2.02	139.1	
23.0	4776.4	3072.7	1703.7	39.0	248.309	-14.910	2.02	139.1	
24.0	5028.4	3238.2	1790.2	41.1	248.309	-14.434	2.02	139.1	
25.0	5287.6	3410.7	1876.8	43.3	248.309	-13.955	2.02	139.1	
26.0	5553.8	3590.3	1963.4	45.8	248.309	-13.474	2.02	139.1	
27.0	5827.1	3777.0	2050.0	48.4	248.309	-12.986	2.02	139.1	
28.0	6107.4	3970.8	2136.6	51.2	248.308	-12.496	2.02	139.1	
29.0	4815.6	4200.3	615.3	39.2	248.308	-15.337	2.02	139.1	
30.0	5050.3	4435.1	615.3	41.1	248.309	-14.990	2.02	139.1	
31.0	5290.2	4675.0	615.3	44.7	236.990	-14.151	2.02	138.0	
32.0	5535.3	4920.1	615.3	46.6	236.990	-13.874	2.02	138.0	
33.0	5785.6	5170.4	615.3	48.6	236.990	-13.606	2.02	138.0	
34.0	6041.1	5425.9	615.3	50.8	236.990	-13.341	2.02	138.0	
35.0	6301.8	5686.6	615.3	53.2	236.990	-13.082	2.02	138.0	
36.0	7431.5	6077.9	1353.6	66.3	236.990	-11.295	2.02	138.0	
37.0	8470.2	6282.5	2187.7	82.5	236.990	-9.708	2.02	138.0	
38.0	8674.9	6487.2	2187.7	85.8	236.990	-9.587	2.02	138.0	
39.0	7425.8	6769.5	656.3	65.5	236.991	-11.912	2.02	138.0	
40.0	7711.4	7055.1	656.3	69.2	236.990	-11.635	2.02	138.0	
41.0	8000.3	7344.0	656.3	73.2	236.991	-11.390	2.02	138.0	
42.0	9054.9	7742.3	1312.6	91.4	236.990	-9.943	2.02	138.0	
43.0	9465.5	8153.0	1312.6	96.8	236.991	-9.865	2.02	138.0	
44.0	9888.6	8576.0	1312.6	101.3	236.991	-10.066	2.02	138.0	
45.0	10968.4	8780.7	2187.7	115.0	236.991	-10.322	2.02	138.0	
46.0	11173.0	8985.4	2187.7	117.6	236.992	-10.208	2.02	138.0	
47.0	11377.7	9190.0	2187.7	120.2	236.992	-10.000	2.02	138.0	
48.0	11582.4	9394.7	2187.7	123.0	236.992	-9.739	2.02	138.0	
49.0	11787.0	9599.3	2187.7	125.9	236.992	-9.463	2.02	138.0	
50.0	11991.7	9804.0	2187.7	128.9	236.992	-9.153	2.02	138.0	
51.0	12196.4	10008.7	2187.7	131.9	236.993	-8.815	2.02	138.0	
52.0	11253.5	10351.1	902.4	115.6	236.993	-10.328	2.02	138.0	
53.3	12111.8	10881.2	1230.6	128.4	236.994	-9.530	2.02	138.0	

Total Number of Blows: 2806

Driving Time (min): 93 70 56 46 40 35 31 28 25 23  
 @Blow Rate (b/min): 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120

Driving Time for continuously running hammer; any wait times not included

**LAMPIRAN E**

**HASIL PERHITUNGAN KERUSAKAN  
KELELAHAN SELAMA PEMANCANGAN**

Tabel 7. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-90 (*continuous*) di kurva F

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	0	1	0	-	0	-
6	187.559	1	187.559	108023.4795	15.7	0.000145339
7	187.559	1	187.559	108023.4795	16.4	0.000151819
8	187.559	1	187.559	108023.4795	17.1	0.000158299
9	187.559	1	187.559	108023.4795	17.8	0.000164779
10	187.559	1	187.559	108023.4795	18.5	0.000171259
11	187.559	1.52	285.08968	30760.07557	19.4	0.000630688
12	187.559	1	187.559	108023.4795	20.3	0.000187922
13	187.559	1	187.559	108023.4795	20.7	0.000191625
14	187.559	1	187.559	108023.4795	19.9	0.000184219
15	187.559	1	187.559	108023.4795	20.7	0.000191625
16	187.559	1	187.559	108023.4795	20.6	0.000190699
17	187.559	1	187.559	108023.4795	20.6	0.000190699
18	187.559	1	187.559	108023.4795	20.6	0.000190699
19	204.022	1	204.022	83926.84279	29.7	0.00035388
20	204.022	1	204.022	83926.84279	25.9	0.000308602
21	204.022	1	204.022	83926.84279	33.1	0.000394391
22	204.022	1	204.022	83926.84279	34.2	0.000407498
23	204.022	1	204.022	83926.84279	36.3	0.00043252
24	204.022	1	204.022	83926.84279	37.9	0.000451584
25	204.022	1	204.022	83926.84279	39.5	0.000470648
26	204.022	1	204.022	83926.84279	41.3	0.000492095
27	204.022	1	204.022	83926.84279	43.2	0.000514734
28	204.022	1	204.022	83926.84279	45.3	0.000539756
29	204.022	1	204.022	83926.84279	43.4	0.000517117
30	204.022	1	204.022	83926.84279	59.8	0.000712525
31	210.573	1	210.573	76335.02183	52.8	0.000691688
32	210.574	1	210.574	76333.93431	50.7	0.000664187
33	210.574	1	210.574	76333.93431	51.8	0.000678597
34	210.574	1	210.574	76333.93431	53	0.000694318
35	210.574	1	210.574	76333.93431	54.3	0.000711348
36	210.574	1	210.574	76333.93431	57.6	0.000754579
37	210.574	1	210.574	76333.93431	61.6	0.000806981
38	210.574	1	210.574	76333.93431	63.7	0.000834491
39	210.574	1	210.574	76333.93431	61	0.00079912
40	210.574	1	210.574	76333.93431	62.5	0.000818771
41	210.574	1	210.574	76333.93431	64	0.000838421
42	210.574	1	210.574	76333.93431	68.3	0.000894753
43	210.574	1	210.574	76333.93431	70.8	0.000927504
44	210.575	1	210.575	76332.8468	73.5	0.000962888
45	210.575	1	210.575	76332.8468	80.3	0.001051972
46	210.575	1	210.575	76332.8468	83.6	0.001095203
47	210.575	1	210.575	76332.8468	87.1	0.001141055
48	210.576	1	210.576	76331.75932	90.9	0.001190854
49	210.576	1	210.576	76331.75932	95	0.001244567
50	210.576	1	210.576	76331.75932	99.4	0.00130221
51	210.576	1	210.576	76331.75932	104.3	0.001366404
52	210.577	1	210.577	76330.67186	99.8	0.001307469
53.34	210.577	1	210.577	76330.67186	108.8	0.001425377
				TOTAL DAMAGE		0.030547779

Tabel 8. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-90 (*lower bound*) di kurva F

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	0	1	0	-	0	-
6	187.559	1	187.559	108023.479	20.8	0.000192551
7	187.559	1	187.559	108023.479	26.3	0.000243466
8	187.559	1	187.559	108023.479	28.8	0.000266609
9	187.559	1	187.559	108023.479	31.8	0.00029438
10	187.559	1	187.559	108023.479	35.3	0.000326781
11	187.559	1.52	285.0897	30760.0756	39.5	0.001284132
12	187.559	1	187.559	108023.479	43.5	0.00040269
13	187.559	1	187.559	108023.479	46.4	0.000429536
14	187.559	1	187.559	108023.479	30.5	0.000282346
15	187.559	1	187.559	108023.479	32.8	0.000303638
16	187.559	1	187.559	108023.479	35.5	0.000328632
17	187.559	1	187.559	108023.479	30.2	0.000279569
18	187.559	1	187.559	108023.479	31.5	0.000291603
19	204.022	1	204.022	83926.8428	38.3	0.00045635
20	204.022	1	204.022	83926.8428	39.3	0.000468265
21	204.022	1	204.022	83926.8428	48.3	0.000575501
22	204.022	1	204.022	83926.8428	51.1	0.000608864
23	204.022	1	204.022	83926.8428	60.9	0.000725632
24	204.022	1	204.022	83926.8428	65	0.000774484
25	204.022	1	204.022	83926.8428	69.4	0.000826911
26	204.022	1	204.022	83926.8428	74.4	0.000886486
27	204.022	1	204.022	83926.8428	79.8	0.000950828
28	204.022	1	204.022	83926.8428	85.8	0.001022319
29	204.022	1	204.022	83926.8428	60	0.000714908
30	204.022	1	204.022	83926.8428	62.6	0.000745888
31	210.574	1	210.574	76333.9343	64.9	0.000850212
32	210.574	1	210.574	76333.9343	67.3	0.000881652
33	210.574	1	210.574	76333.9343	69.8	0.000914403
34	210.574	1	210.574	76333.9343	72.5	0.000949774
35	210.574	1	210.574	76333.9343	75.5	0.000989075
36	210.574	1	210.574	76333.9343	99	0.001296933
37	210.574	1	210.574	76333.9343	113.8	0.001490818
38	210.574	1	210.574	76333.9343	116.6	0.001527499
39	210.574	1	210.574	76333.9343	93.9	0.001230121
40	210.574	1	210.574	76333.9343	98.9	0.001295623
41	210.574	1	210.574	76333.9343	103.3	0.001353264
42	210.575	1	210.575	76332.8468	116.5	0.001526211
43	210.575	1	210.575	76332.8468	121	0.001585163
44	210.575	1	210.575	76332.8468	125.8	0.001648045
45	210.575	1	210.575	76332.8468	146.1	0.001913986
46	210.576	1	210.576	76331.7593	150	0.001965106
47	210.576	1	210.576	76331.7593	154.1	0.002018819
48	210.576	1	210.576	76331.7593	158.3	0.002073842
49	210.577	1	210.577	76330.6719	162.6	0.002130205
50	210.577	1	210.577	76330.6719	167.2	0.002190469
51	210.577	1	210.577	76330.6719	171.8	0.002250733
52	210.578	1	210.578	76329.5844	145.6	0.001907517
53.34	210.578	1	210.578	76329.5844	161.3	0.002113204
TOTAL DAMAGE						0.049785045



Tabel 9. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-90 (*upper bound*) di kurva F

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	187.559	1	187.559	108023.5	15.2	0.00014071
6	187.559	1	187.559	108023.5	21.5	0.000199031
7	187.559	1	187.559	108023.5	27.1	0.000250871
8	187.559	1	187.559	108023.5	30	0.000277717
9	187.559	1	187.559	108023.5	33.4	0.000309192
10	187.559	1	187.559	108023.5	37.5	0.000347147
11	187.559	1.52	285.0897	30760.08	42.5	0.001381661
12	187.559	1	187.559	108023.5	45.8	0.000423982
13	187.559	1	187.559	108023.5	49.3	0.000456382
14	187.559	1	187.559	108023.5	34.2	0.000316598
15	187.559	1	187.559	108023.5	37.9	0.00035085
16	187.559	1	187.559	108023.5	42.2	0.000390656
17	187.559	1	187.559	108023.5	36.2	0.000335112
18	187.559	1	187.559	108023.5	38.3	0.000354553
19	204.022	1	204.022	83926.84	43	0.000512351
20	204.022	1	204.022	83926.84	44.4	0.000529032
21	204.022	1	204.022	83926.84	56	0.000667248
22	204.022	1	204.022	83926.84	60.6	0.000722057
23	204.022	1	204.022	83926.84	73.6	0.000876954
24	204.022	1	204.022	83926.84	78.5	0.000935338
25	204.022	1	204.022	83926.84	83.9	0.00099968
26	204.022	1	204.022	83926.84	89.5	0.001066405
27	204.022	1	204.022	83926.84	92.4	0.001100959
28	204.022	1	204.022	83926.84	95.5	0.001137896
29	204.022	1	204.022	83926.84	72.9	0.000868614
30	204.023	1	204.023	83925.61	77	0.000917479
31	210.574	1	210.574	76333.93	79	0.001034926
32	210.574	1	210.574	76333.93	83.5	0.001093878
33	210.574	1	210.574	76333.93	88.6	0.00116069
34	210.574	1	210.574	76333.93	94.2	0.001234051
35	210.574	1	210.574	76333.93	100.5	0.001316584
36	210.574	1	210.574	76333.93	116.4	0.001524879
37	210.574	1	210.574	76333.93	133.7	0.001751515
38	210.574	1	210.574	76333.93	137.3	0.001798676
39	210.574	1	210.574	76333.93	115.3	0.001510468
40	210.574	1	210.574	76333.93	119.3	0.00156287
41	210.575	1	210.575	76332.85	123.6	0.001619224
42	210.575	1	210.575	76332.85	143	0.001873374
43	210.575	1	210.575	76332.85	151.2	0.001980799
44	210.576	1	210.576	76331.76	160.2	0.002098733
45	210.576	1	210.576	76331.76	190.1	0.002490444
46	210.576	1	210.576	76331.76	195.5	0.002561188
47	210.577	1	210.577	76330.67	201.3	0.00263721
48	210.577	1	210.577	76330.67	207.6	0.002719745
49	210.578	1	210.578	76329.58	214.1	0.002804941
50	210.578	1	210.578	76329.58	220.7	0.002891408
51	210.578	1	210.578	76329.58	227.7	0.002983116
52	210.579	1	210.579	76328.5	189.6	0.002484
53.34	210.58	1	210.58	76327.41	218.6	0.002863978
				TOTAL DAMAGE		0.061724463

Tabel 10. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-150 (*continuous*) di kurva F

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	0	1	0	-	0	-
6	215.104	1	215.104	71612.1031	10	0.000139641
7	215.128	1	215.128	71588.13832	10.3	0.000143879
8	214.943	1	214.943	71773.14375	10.6	0.000147688
9	214.719	1	214.719	71998.00455	11	0.000152782
10	214.498	1	214.498	72220.77528	11.4	0.000157849
11	214.283	1.52	325.71016	20627.09031	11.8	0.000572063
12	214.052	1	214.052	72673.15544	12.3	0.000169251
13	213.812	1	213.812	72918.15305	12.8	0.000175539
14	213.505	1	213.505	73233.15378	12.1	0.000165226
15	213.258	1	213.258	73487.90925	12.7	0.000172818
16	212.984	1	212.984	73771.89682	13.3	0.000180285
17	212.666	1	212.666	74103.32582	13.3	0.000179479
18	212.339	1	212.339	74446.20852	13.5	0.000181339
19	248.308	1	248.308	46554.29475	20.7	0.000444642
20	248.308	1	248.308	46554.29475	19	0.000408126
21	248.309	1	248.309	46553.7323	19.5	0.000418871
22	248.309	1	248.309	46553.7323	20.3	0.000436055
23	248.309	1	248.309	46553.7323	20.6	0.000442499
24	248.308	1	248.308	46554.29475	20.6	0.000442494
25	248.308	1	248.308	46554.29475	20.6	0.000442494
26	248.309	1	248.309	46553.7323	20.7	0.000444647
27	248.308	1	248.308	46554.29475	21.9	0.000470418
28	248.309	1	248.309	46553.7323	26.8	0.000575679
29	248.309	1	248.309	46553.7323	22	0.000472572
30	248.308	1	248.308	46554.29475	33.5	0.00071959
31	236.99	1	236.99	53547.82368	32.4	0.000605067
32	236.99	1	236.99	53547.82368	30.6	0.000571452
33	236.99	1	236.99	53547.82368	31.4	0.000586392
34	236.99	1	236.99	53547.82368	32.4	0.000605067
35	236.99	1	236.99	53547.82368	33.4	0.000623742
36	236.99	1	236.99	53547.82368	35.6	0.000664826
37	236.99	1	236.99	53547.82368	37.8	0.000705911
38	236.99	1	236.99	53547.82368	39	0.000728321
39	236.99	1	236.99	53547.82368	38.1	0.000711514
40	236.99	1	236.99	53547.82368	39	0.000728321
41	236.99	1	236.99	53547.82368	39.9	0.000745128
42	236.99	1	236.99	53547.82368	41.6	0.000776876
43	236.99	1	236.99	53547.82368	42.7	0.000797418
44	236.99	1	236.99	53547.82368	43.9	0.000819828
45	236.991	1	236.991	53547.14584	46.3	0.000864659
46	236.991	1	236.991	53547.14584	47.7	0.000890804
47	236.991	1	236.991	53547.14584	49.1	0.000916949
48	236.991	1	236.991	53547.14584	50.6	0.000944962
49	236.991	1	236.991	53547.14584	52.2	0.000974842
50	236.991	1	236.991	53547.14584	53.7	0.001002855
51	236.991	1	236.991	53547.14584	55.3	0.001032735
52	236.992	1	236.992	53546.46801	53.9	0.001006602
53.34	236.992	1	236.992	53546.46801	56.6	0.001057026
				TOTAL DAMAGE		0.026477579

Tabel 11. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-150 (*lower bound*) di kurva F

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	0	1	0	-	0	-
6	215.199	1	215.199	71517.3051	14.3	0.000199952
7	215.373	1	215.373	71344.1084	15.7	0.00022006
8	215.225	1	215.225	71491.3895	17.2	0.000240588
9	214.97	1	214.97	71746.1033	18.9	0.000263429
10	214.718	1	214.718	71999.0105	20.8	0.000288893
11	214.475	1.52	326.002	20571.7432	22.8	0.001108316
12	214.223	1	214.223	72499.2639	25.3	0.000348969
13	213.953	1	213.953	72774.0838	28.1	0.000386126
14	213.645	1	213.645	73089.2807	18.1	0.000247642
15	213.348	1	213.348	73394.9467	19.3	0.000262961
16	213.031	1	213.031	73723.0798	20.6	0.000279424
17	212.694	1	212.694	74074.0638	17.9	0.00024165
18	212.359	1	212.359	74425.1764	18.5	0.000248572
19	248.308	1	248.308	46554.2947	20.6	0.000442494
20	248.308	1	248.308	46554.2947	20.6	0.000442494
21	248.308	1	248.308	46554.2947	28.2	0.000605744
22	248.309	1	248.309	46553.7323	29.5	0.000633676
23	248.309	1	248.309	46553.7323	33.8	0.000726043
24	248.309	1	248.309	46553.7323	35.4	0.000760412
25	248.309	1	248.309	46553.7323	37.3	0.000801225
26	248.309	1	248.309	46553.7323	39.4	0.000846334
27	248.309	1	248.309	46553.7323	41.6	0.000893591
28	248.309	1	248.309	46553.7323	44.1	0.000947292
29	248.309	1	248.309	46553.7323	33.4	0.000717451
30	248.309	1	248.309	46553.7323	34.6	0.000743227
31	236.99	1	236.99	53547.8237	38.9	0.000726453
32	236.99	1	236.99	53547.8237	39.9	0.000745128
33	236.99	1	236.99	53547.8237	41	0.000765671
34	236.99	1	236.99	53547.8237	42.2	0.000788081
35	236.99	1	236.99	53547.8237	43.5	0.000812358
36	236.99	1	236.99	53547.8237	52.3	0.000976697
37	236.99	1	236.99	53547.8237	63.9	0.001193326
38	236.99	1	236.99	53547.8237	66.5	0.001241881
39	236.99	1	236.99	53547.8237	50.8	0.000948685
40	236.99	1	236.99	53547.8237	52.6	0.000982299
41	236.99	1	236.99	53547.8237	54.6	0.001019649
42	236.99	1	236.99	53547.8237	66.2	0.001236278
43	236.991	1	236.991	53547.1458	70.3	0.001312862
44	236.991	1	236.991	53547.1458	74.8	0.0013969
45	236.991	1	236.991	53547.1458	94.1	0.00175733
46	236.991	1	236.991	53547.1458	96.1	0.00179468
47	236.991	1	236.991	53547.1458	98.1	0.00183203
48	236.992	1	236.992	53546.468	100.2	0.001871272
49	236.992	1	236.992	53546.468	102.3	0.00191049
50	236.992	1	236.992	53546.468	104.5	0.001951576
51	236.992	1	236.992	53546.468	106.7	0.001992662
52	236.993	1	236.993	53545.7902	93.9	0.001753639
53.34	236.993	1	236.993	53545.7902	102	0.001904912
TOTAL DAMAGE						0.043811425

Tabel 12. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-150 (*upper bound*) di kurva F

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	215.018	1	215.018	71698.06	9.7	0.00013529
6	215.257	1	215.257	71459.51	14.7	0.000205711
7	215.507	1	215.507	71211.11	16.2	0.000227493
8	215.323	1	215.323	71393.82	17.9	0.000250722
9	214.811	1	214.811	71905.54	19.8	0.000275361
10	214.567	1	214.567	72151.12	21.9	0.00030353
11	214.311	1.52	325.7527	20619.01	24.3	0.001178524
12	214.038	1	214.038	72687.42	27.2	0.000374205
13	213.728	1	213.728	73004.16	29.7	0.000406826
14	213.428	1	213.428	73312.44	19.9	0.000271441
15	213.109	1	213.109	73642.16	21.6	0.00029331
16	212.762	1	212.762	74003.06	23.6	0.000318906
17	212.404	1	212.404	74377.88	20.7	0.000278309
18	212.339	1	212.339	74446.21	21.6	0.000290142
19	212.339	1	212.339	74446.21	21.8	0.000292829
20	248.308	1	248.308	46554.29	22.7	0.000487603
21	248.309	1	248.309	46553.73	31.6	0.000678786
22	248.309	1	248.309	46553.73	33.5	0.000719599
23	248.309	1	248.309	46553.73	39	0.000837742
24	248.309	1	248.309	46553.73	41.1	0.000882851
25	248.309	1	248.309	46553.73	43.3	0.000930108
26	248.309	1	248.309	46553.73	45.8	0.000983809
27	248.309	1	248.309	46553.73	48.4	0.001039659
28	248.308	1	248.308	46554.29	51.2	0.001099791
29	248.308	1	248.308	46554.29	39.2	0.000842028
30	248.309	1	248.309	46553.73	41.1	0.000882851
31	236.99	1	236.99	53547.82	44.7	0.000834768
32	236.99	1	236.99	53547.82	46.6	0.00087025
33	236.99	1	236.99	53547.82	48.6	0.0009076
34	236.99	1	236.99	53547.82	50.8	0.000948685
35	236.99	1	236.99	53547.82	53.2	0.000993504
36	236.99	1	236.99	53547.82	66.3	0.001238146
37	236.99	1	236.99	53547.82	82.5	0.001540679
38	236.99	1	236.99	53547.82	85.8	0.001602306
39	236.991	1	236.991	53547.15	65.5	0.001223221
40	236.99	1	236.99	53547.82	69.2	0.001292303
41	236.991	1	236.991	53547.15	73.2	0.00136702
42	236.99	1	236.99	53547.82	91.4	0.001706885
43	236.991	1	236.991	53547.15	96.8	0.001807753
44	236.991	1	236.991	53547.15	101.3	0.001891791
45	236.991	1	236.991	53547.15	115	0.00214764
46	236.992	1	236.992	53546.47	117.6	0.002196223
47	236.992	1	236.992	53546.47	120.2	0.002244779
48	236.992	1	236.992	53546.47	123	0.00229707
49	236.992	1	236.992	53546.47	125.9	0.002351229
50	236.992	1	236.992	53546.47	128.9	0.002407255
51	236.993	1	236.993	53545.79	131.9	0.002463312
52	236.993	1	236.993	53545.79	115.6	0.0021589
53.34	236.994	1	236.994	53545.11	128.4	0.002397978
				TOTAL DAMAGE		0.05337672

Tabel 13. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-90 (*continuous*) di kurva F3

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	0	1	0	-	0	-
6	187.559	1	187.559	21111.45481	15.7	0.000743672
7	187.559	1	187.559	21111.45481	16.4	0.000776829
8	187.559	1	187.559	21111.45481	17.1	0.000809987
9	187.559	1	187.559	21111.45481	17.8	0.000843144
10	187.559	1	187.559	21111.45481	18.5	0.000876302
11	187.559	1.52	285.08968	6011.562935	19.4	0.003227114
12	187.559	1	187.559	21111.45481	20.3	0.000961563
13	187.559	1	187.559	21111.45481	20.7	0.00098051
14	187.559	1	187.559	21111.45481	19.9	0.000942616
15	187.559	1	187.559	21111.45481	20.7	0.00098051
16	187.559	1	187.559	21111.45481	20.6	0.000975774
17	187.559	1	187.559	21111.45481	20.6	0.000975774
18	187.559	1	187.559	21111.45481	20.6	0.000975774
19	204.022	1	204.022	16402.15403	29.7	0.001810738
20	204.022	1	204.022	16402.15403	25.9	0.001579061
21	204.022	1	204.022	16402.15403	33.1	0.002018028
22	204.022	1	204.022	16402.15403	34.2	0.002085092
23	204.022	1	204.022	16402.15403	36.3	0.002213124
24	204.022	1	204.022	16402.15403	37.9	0.002310672
25	204.022	1	204.022	16402.15403	39.5	0.00240822
26	204.022	1	204.022	16402.15403	41.3	0.002517962
27	204.022	1	204.022	16402.15403	43.2	0.0026338
28	204.022	1	204.022	16402.15403	45.3	0.002761832
29	204.022	1	204.022	16402.15403	43.4	0.002645994
30	204.022	1	204.022	16402.15403	59.8	0.003645863
31	210.573	1	210.573	14918.4545	52.8	0.003539241
32	210.574	1	210.574	14918.24196	50.7	0.003398524
33	210.574	1	210.574	14918.24196	51.8	0.003472259
34	210.574	1	210.574	14918.24196	53	0.003552697
35	210.574	1	210.574	14918.24196	54.3	0.003639839
36	210.574	1	210.574	14918.24196	57.6	0.003861045
37	210.574	1	210.574	14918.24196	61.6	0.004129173
38	210.574	1	210.574	14918.24196	63.7	0.00426994
39	210.574	1	210.574	14918.24196	61	0.004088954
40	210.574	1	210.574	14918.24196	62.5	0.004189502
41	210.574	1	210.574	14918.24196	64	0.00429005
42	210.574	1	210.574	14918.24196	68.3	0.004578287
43	210.574	1	210.574	14918.24196	70.8	0.004745868
44	210.575	1	210.575	14918.02943	73.5	0.004926924
45	210.575	1	210.575	14918.02943	80.3	0.005382748
46	210.575	1	210.575	14918.02943	83.6	0.005603957
47	210.575	1	210.575	14918.02943	87.1	0.005838573
48	210.576	1	210.576	14917.8169	90.9	0.006093385
49	210.576	1	210.576	14917.8169	95	0.006368224
50	210.576	1	210.576	14917.8169	99.4	0.006663173
51	210.576	1	210.576	14917.8169	104.3	0.00699164
52	210.577	1	210.577	14917.60437	99.8	0.006690082
53.34	210.577	1	210.577	14917.60437	108.8	0.007293396
TOTAL DAMAGE						0.156307436

Tabel 14. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-90 (*lower bound*) di kurva F3

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	0	1	0	-	0	-
6	187.559	1	187.559	21111.45	20.8	0.000985247
7	187.559	1	187.559	21111.45	26.3	0.001245769
8	187.559	1	187.559	21111.45	28.8	0.001364188
9	187.559	1	187.559	21111.45	31.8	0.001506291
10	187.559	1	187.559	21111.45	35.3	0.001672078
11	187.559	1.52	285.0897	6011.563	39.5	0.006570671
12	187.559	1	187.559	21111.45	43.5	0.002060493
13	187.559	1	187.559	21111.45	46.4	0.002197859
14	187.559	1	187.559	21111.45	30.5	0.001444713
15	187.559	1	187.559	21111.45	32.8	0.001553659
16	187.559	1	187.559	21111.45	35.5	0.001681552
17	187.559	1	187.559	21111.45	30.2	0.001430503
18	187.559	1	187.559	21111.45	31.5	0.001492081
19	204.022	1	204.022	16402.15	38.3	0.002335059
20	204.022	1	204.022	16402.15	39.3	0.002396027
21	204.022	1	204.022	16402.15	48.3	0.002944735
22	204.022	1	204.022	16402.15	51.1	0.003115444
23	204.022	1	204.022	16402.15	60.9	0.003712927
24	204.022	1	204.022	16402.15	65	0.003962894
25	204.022	1	204.022	16402.15	69.4	0.004231152
26	204.022	1	204.022	16402.15	74.4	0.00453599
27	204.022	1	204.022	16402.15	79.8	0.004865215
28	204.022	1	204.022	16402.15	85.8	0.00523102
29	204.022	1	204.022	16402.15	60	0.003658056
30	204.022	1	204.022	16402.15	62.6	0.003816572
31	210.574	1	210.574	14918.24	64.9	0.004350379
32	210.574	1	210.574	14918.24	67.3	0.004511255
33	210.574	1	210.574	14918.24	69.8	0.004678835
34	210.574	1	210.574	14918.24	72.5	0.004859822
35	210.574	1	210.574	14918.24	75.5	0.005060918
36	210.574	1	210.574	14918.24	99	0.006636171
37	210.574	1	210.574	14918.24	113.8	0.007628245
38	210.574	1	210.574	14918.24	116.6	0.007815934
39	210.574	1	210.574	14918.24	93.9	0.006294307
40	210.574	1	210.574	14918.24	98.9	0.006629467
41	210.574	1	210.574	14918.24	103.3	0.006924408
42	210.575	1	210.575	14918.03	116.5	0.007809342
43	210.575	1	210.575	14918.03	121	0.008110991
44	210.575	1	210.575	14918.03	125.8	0.008432749
45	210.575	1	210.575	14918.03	146.1	0.009793519
46	210.576	1	210.576	14917.82	150	0.010055091
47	210.576	1	210.576	14917.82	154.1	0.01032993
48	210.576	1	210.576	14917.82	158.3	0.010611472
49	210.577	1	210.577	14917.6	162.6	0.010899873
50	210.577	1	210.577	14917.6	167.2	0.011208234
51	210.577	1	210.577	14917.6	171.8	0.011516594
52	210.578	1	210.578	14917.39	145.6	0.009760419
53.34	210.578	1	210.578	14917.39	161.3	0.010812882
				TOTAL DAMAGE		0.254741034

Tabel 15. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-90 (*upper bound*) di kurva F3

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	187.559	1	187.559	21111.45	15.2	0.000719988
6	187.559	1	187.559	21111.45	21.5	0.001018404
7	187.559	1	187.559	21111.45	27.1	0.001283663
8	187.559	1	187.559	21111.45	30	0.001421029
9	187.559	1	187.559	21111.45	33.4	0.00158208
10	187.559	1	187.559	21111.45	37.5	0.001776287
11	187.559	1.52	285.0897	6011.563	42.5	0.007069709
12	187.559	1	187.559	21111.45	45.8	0.002169438
13	187.559	1	187.559	21111.45	49.3	0.002335225
14	187.559	1	187.559	21111.45	34.2	0.001619974
15	187.559	1	187.559	21111.45	37.9	0.001795234
16	187.559	1	187.559	21111.45	42.2	0.001998915
17	187.559	1	187.559	21111.45	36.2	0.001714709
18	187.559	1	187.559	21111.45	38.3	0.001814181
19	204.022	1	204.022	16402.15	43	0.002621607
20	204.022	1	204.022	16402.15	44.4	0.002706962
21	204.022	1	204.022	16402.15	56	0.003414186
22	204.022	1	204.022	16402.15	60.6	0.003694637
23	204.022	1	204.022	16402.15	73.6	0.004487216
24	204.022	1	204.022	16402.15	78.5	0.004785957
25	204.022	1	204.022	16402.15	83.9	0.005115182
26	204.022	1	204.022	16402.15	89.5	0.0054566
27	204.022	1	204.022	16402.15	92.4	0.005633406
28	204.022	1	204.022	16402.15	95.5	0.005822406
29	204.022	1	204.022	16402.15	72.9	0.004444538
30	204.023	1	204.023	16401.91	77	0.004694574
31	210.574	1	210.574	14918.24	79	0.00529553
32	210.574	1	210.574	14918.24	83.5	0.005597174
33	210.574	1	210.574	14918.24	88.6	0.005939038
34	210.574	1	210.574	14918.24	94.2	0.006314417
35	210.574	1	210.574	14918.24	100.5	0.006736719
36	210.574	1	210.574	14918.24	116.4	0.007802528
37	210.574	1	210.574	14918.24	133.7	0.008962182
38	210.574	1	210.574	14918.24	137.3	0.009203497
39	210.574	1	210.574	14918.24	115.3	0.007728793
40	210.574	1	210.574	14918.24	119.3	0.007996921
41	210.575	1	210.575	14918.03	123.6	0.008285277
42	210.575	1	210.575	14918.03	143	0.009585716
43	210.575	1	210.575	14918.03	151.2	0.010135387
44	210.576	1	210.576	14917.82	160.2	0.010738837
45	210.576	1	210.576	14917.82	190.1	0.012743151
46	210.576	1	210.576	14917.82	195.5	0.013105135
47	210.577	1	210.577	14917.6	201.3	0.013494124
48	210.577	1	210.577	14917.6	207.6	0.013916444
49	210.578	1	210.578	14917.39	214.1	0.014352375
50	210.578	1	210.578	14917.39	220.7	0.014794811
51	210.578	1	210.578	14917.39	227.7	0.015264062
52	210.579	1	210.579	14917.18	189.6	0.012710178
53.34	210.58	1	210.58	14916.97	218.6	0.014654454
				TOTAL DAMAGE		0.315832868



Tabel 16. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-150 (*continuous*) di kurva F3

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	0	1	0	-	0	-
6	215.104	1	215.104	13995.43586	10	0.000714519
7	215.128	1	215.128	13990.75233	10.3	0.000736201
8	214.943	1	214.943	14026.90867	10.6	0.00075569
9	214.719	1	214.719	14070.8541	11	0.000781758
10	214.498	1	214.498	14114.39107	11.4	0.000807686
11	214.283	1.52	325.71016	4031.233644	11.8	0.002927144
12	214.052	1	214.052	14202.80151	12.3	0.000866026
13	213.812	1	213.812	14250.68235	12.8	0.000898203
14	213.505	1	213.505	14312.24419	12.1	0.00084543
15	213.258	1	213.258	14362.03206	12.7	0.000884276
16	212.984	1	212.984	14417.53287	13.3	0.000922488
17	212.666	1	212.666	14482.30534	13.3	0.000918362
18	212.339	1	212.339	14549.31626	13.5	0.000927879
19	248.308	1	248.308	9098.289506	20.7	0.002275153
20	248.308	1	248.308	9098.289506	19	0.002088305
21	248.309	1	248.309	9098.179584	19.5	0.002143286
22	248.309	1	248.309	9098.179584	20.3	0.002231216
23	248.309	1	248.309	9098.179584	20.6	0.002264189
24	248.308	1	248.308	9098.289506	20.6	0.002264162
25	248.308	1	248.308	9098.289506	20.6	0.002264162
26	248.309	1	248.309	9098.179584	20.7	0.00227518
27	248.308	1	248.308	9098.289506	21.9	0.002407046
28	248.309	1	248.309	9098.179584	26.8	0.002945644
29	248.309	1	248.309	9098.179584	22	0.002418066
30	248.308	1	248.308	9098.289506	33.5	0.003682011
31	236.99	1	236.99	10465.06246	32.4	0.003096016
32	236.99	1	236.99	10465.06246	30.6	0.002924015
33	236.99	1	236.99	10465.06246	31.4	0.00300046
34	236.99	1	236.99	10465.06246	32.4	0.003096016
35	236.99	1	236.99	10465.06246	33.4	0.003191572
36	236.99	1	236.99	10465.06246	35.6	0.003401795
37	236.99	1	236.99	10465.06246	37.8	0.003612019
38	236.99	1	236.99	10465.06246	39	0.003726686
39	236.99	1	236.99	10465.06246	38.1	0.003640685
40	236.99	1	236.99	10465.06246	39	0.003726686
41	236.99	1	236.99	10465.06246	39.9	0.003812686
42	236.99	1	236.99	10465.06246	41.6	0.003975132
43	236.99	1	236.99	10465.06246	42.7	0.004080243
44	236.99	1	236.99	10465.06246	43.9	0.00419491
45	236.991	1	236.991	10464.92999	46.3	0.004424301
46	236.991	1	236.991	10464.92999	47.7	0.004558081
47	236.991	1	236.991	10464.92999	49.1	0.004691861
48	236.991	1	236.991	10464.92999	50.6	0.004835197
49	236.991	1	236.991	10464.92999	52.2	0.004988089
50	236.991	1	236.991	10464.92999	53.7	0.005131425
51	236.991	1	236.991	10464.92999	55.3	0.005284316
52	236.992	1	236.992	10464.79751	53.9	0.005150601
53.34	236.992	1	236.992	10464.79751	56.6	0.005408609
				TOTAL DAMAGE		0.135480964



Tabel 17. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-150 (*lower bound*) di kurva F3

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	0	1	0	-	0	-
6	215.199	1	215.199	13976.91	14.3	0.001023116
7	215.373	1	215.373	13943.06	15.7	0.001126008
8	215.225	1	215.225	13971.84	17.2	0.001231047
9	214.97	1	214.97	14021.62	18.9	0.001347918
10	214.718	1	214.718	14071.05	20.8	0.001478212
11	214.475	1.52	326.002	4020.417	22.8	0.005671054
12	214.223	1	214.223	14168.82	25.3	0.001785611
13	213.953	1	213.953	14222.53	28.1	0.001975739
14	213.645	1	213.645	14284.13	18.1	0.001267141
15	213.348	1	213.348	14343.86	19.3	0.001345523
16	213.031	1	213.031	14407.99	20.6	0.001429762
17	212.694	1	212.694	14476.59	17.9	0.001236479
18	212.359	1	212.359	14545.21	18.5	0.001271897
19	248.308	1	248.308	9098.29	20.6	0.002264162
20	248.308	1	248.308	9098.29	20.6	0.002264162
21	248.308	1	248.308	9098.29	28.2	0.003099484
22	248.309	1	248.309	9098.18	29.5	0.003242407
23	248.309	1	248.309	9098.18	33.8	0.003715029
24	248.309	1	248.309	9098.18	35.4	0.003890888
25	248.309	1	248.309	9098.18	37.3	0.004099721
26	248.309	1	248.309	9098.18	39.4	0.004330537
27	248.309	1	248.309	9098.18	41.6	0.004572343
28	248.309	1	248.309	9098.18	44.1	0.004847123
29	248.309	1	248.309	9098.18	33.4	0.003671064
30	248.309	1	248.309	9098.18	34.6	0.003802959
31	236.99	1	236.99	10465.06	38.9	0.00371713
32	236.99	1	236.99	10465.06	39.9	0.003812686
33	236.99	1	236.99	10465.06	41	0.003917798
34	236.99	1	236.99	10465.06	42.2	0.004032465
35	236.99	1	236.99	10465.06	43.5	0.004156688
36	236.99	1	236.99	10465.06	52.3	0.004997581
37	236.99	1	236.99	10465.06	63.9	0.006106031
38	236.99	1	236.99	10465.06	66.5	0.006354477
39	236.99	1	236.99	10465.06	50.8	0.004854247
40	236.99	1	236.99	10465.06	52.6	0.005026248
41	236.99	1	236.99	10465.06	54.6	0.00521736
42	236.99	1	236.99	10465.06	66.2	0.00632581
43	236.991	1	236.991	10464.93	70.3	0.006717675
44	236.991	1	236.991	10464.93	74.8	0.007147683
45	236.991	1	236.991	10464.93	94.1	0.008991938
46	236.991	1	236.991	10464.93	96.1	0.009183052
47	236.991	1	236.991	10464.93	98.1	0.009374167
48	236.992	1	236.992	10464.8	100.2	0.009574958
49	236.992	1	236.992	10464.8	102.3	0.009775631
50	236.992	1	236.992	10464.8	104.5	0.00998586
51	236.992	1	236.992	10464.8	106.7	0.010196088
52	236.993	1	236.993	10464.67	93.9	0.008973054
53.34	236.993	1	236.993	10464.67	102	0.009747087
				TOTAL DAMAGE		0.224175102

Tabel 18. Total kerusakan kelelahan pada IHC S-150 (*upper bound*) di kurva F3

depth	Maksimum stres	SCF	$\Delta\sigma$	N	n	Damage n/N
1	0	1	0	-	0	-
2	0	1	0	-	0	-
3	0	1	0	-	0	-
4	0	1	0	-	0	-
5	215.018	1	215.018	14012.24	9.7	0.000692252
6	215.257	1	215.257	13965.61	14.7	0.001052585
7	215.507	1	215.507	13917.07	16.2	0.001164038
8	215.323	1	215.323	13952.78	17.9	0.001282899
9	214.811	1	214.811	14052.78	19.8	0.001408974
10	214.567	1	214.567	14100.78	21.9	0.001553106
11	214.311	1.52	325.7527	4029.654	24.3	0.006030295
12	214.038	1	214.038	14205.59	27.2	0.001914739
13	213.728	1	213.728	14267.49	29.7	0.002081655
14	213.428	1	213.428	14327.74	19.9	0.001388914
15	213.109	1	213.109	14392.18	21.6	0.001500815
16	212.762	1	212.762	14462.71	23.6	0.001631783
17	212.404	1	212.404	14535.96	20.7	0.001424054
18	212.339	1	212.339	14549.32	21.6	0.001484606
19	212.339	1	212.339	14549.32	21.8	0.001498352
20	248.308	1	248.308	9098.29	22.7	0.002494974
21	248.309	1	248.309	9098.18	31.6	0.003473222
22	248.309	1	248.309	9098.18	33.5	0.003682055
23	248.309	1	248.309	9098.18	39	0.004286572
24	248.309	1	248.309	9098.18	41.1	0.004517387
25	248.309	1	248.309	9098.18	43.3	0.004759194
26	248.309	1	248.309	9098.18	45.8	0.005033974
27	248.309	1	248.309	9098.18	48.4	0.005319746
28	248.308	1	248.308	9098.29	51.2	0.005627431
29	248.308	1	248.308	9098.29	39.2	0.004308502
30	248.309	1	248.309	9098.18	41.1	0.004517387
31	236.99	1	236.99	10465.06	44.7	0.004271355
32	236.99	1	236.99	10465.06	46.6	0.004452912
33	236.99	1	236.99	10465.06	48.6	0.004644024
34	236.99	1	236.99	10465.06	50.8	0.004854247
35	236.99	1	236.99	10465.06	53.2	0.005083582
36	236.99	1	236.99	10465.06	66.3	0.006335366
37	236.99	1	236.99	10465.06	82.5	0.007883374
38	236.99	1	236.99	10465.06	85.8	0.008198709
39	236.991	1	236.991	10464.93	65.5	0.006259
40	236.99	1	236.99	10465.06	69.2	0.006612478
41	236.991	1	236.991	10464.93	73.2	0.006994791
42	236.99	1	236.99	10465.06	91.4	0.008733823
43	236.991	1	236.991	10464.93	96.8	0.009249942
44	236.991	1	236.991	10464.93	101.3	0.00967995
45	236.991	1	236.991	10464.93	115	0.010989085
46	236.992	1	236.992	10464.8	117.6	0.011237676
47	236.992	1	236.992	10464.8	120.2	0.011486128
48	236.992	1	236.992	10464.8	123	0.011753691
49	236.992	1	236.992	10464.8	125.9	0.012030811
50	236.992	1	236.992	10464.8	128.9	0.012317486
51	236.993	1	236.993	10464.67	131.9	0.012604321
52	236.993	1	236.993	10464.67	115.6	0.011046699
53.34	236.994	1	236.994	10464.53	128.4	0.012270018
				TOTAL DAMAGE		0.27311898

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisa yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah pukulan dengan menggunakan jenis *hammer* yang berbeda, yaitu *hammer* jenis IHC S-90 dan IHC S-150 tidak mengalami *pile refusal*. Dari hasil pemodelan yang menggunakan dua jenis *hammer* didapatkan *blow-count* terbesar pada kondisi *restart (upper bound)* masing-masing sebesar 227.7 *blow/m* dan 131.9 *blow/m*. Untuk *driving stress* terbesar pada kondisi *restart (upper bound)* masing-masing sebesar 210.580 Mpa dan 248.309 Mpa. Batas *driving stress* pada analisa ini 90% *yield stress* atau 310 Mpa, maka nilai *driving stress* dengan menggunakan kedua jenis *hammer* tersebut masih bisa digunakan.
2. Nilai total kerusakan kelelahan akibat *driving* didapatkan dengan menggunakan DNV RP-C203 2012, dengan dua nilai SCF 1.52 pada sambungan lasan butt tubular dan SCF sama dengan 1 pada bagian *pile* yang selain sambungan lasan *butt tubular* serta dua kurva S-N (F dan F3) yang berbeda, untuk nilai total kerusakan kelelahan terbesar pada kondisi *restart (upper bound)* masing-masing 0.31 dan 0.27 pada kurva F3.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Bisa menggunakan *uniform pile* untuk analisa lebih lanjut sesuai dengan detail struktur yang ada.
2. Untuk hasil yang lebih baik bisa menyertakan analisa kelelahan pada kondisi *in-place* dikarenakan kerusakan kelelahan akibat *driving* mengakibatkan berkurangnya umur kelelahan pada kondisi *in-place*.
3. Bisa menggunakan jenis *hammer* yang lain sesuai dengan kapasitasnya.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

Bowles, Joseph E. 1997. *Foundation Analysis and Design*. Fifth Edition. Mc.Graw-Hill Companies, Inc. : Singapore.

Das, Braja M. 1999. *Principles of Foundation Engineering*. Fourth Edition. Brooks/Cole Publishing Company : California.

American Petroleum Institute (API). 2000. *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms- Working Stress Design*. API Recommended Practice 2A-WSD (RP2A-WSD). 21th edition : Washington, D.C.

Hussein, M.H. *et al*, 1988. *Wave Equation : Methodology And Performance*. 6th National Conference On Microcomputers In Civil Engineering : Florida.

Rasmussen, J.L. *et al*, 1999. *Pile Driving Fatigue. A Case Study* : Denmark.

Chung, J. *Et al*, 2013. *Pile Fatigue Assessment During Driving*, 5th Fatigue Design Conference, Fatigue Design : France.

Poulos, H. G. and E. H. Davis. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*.” John Wiley and Sons, Inc. : Canada.

Thomlinson, M.J. 1994. *Pile Design And Construction Practice*. Fourth Edition. Published by E & FN Spon : London.

Hussein, M.H. *et al*, 2006. *Pile Driveability and Bearing Capacity in High-Rebound Soils*. ASCE GEO Congress : Atlanta, Georgia.

*Pile Dynamics, Inc. 2013. Fundamental Of Dynamic Driven Analysis*.

Yakin, M.K., 2012, *Analisa Perbandingan Hammer Pada Perhitungan Proses Pemancangan Tiang Pancang Pada Anjungan lepas Pantai “Zora” Jacket Platform*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

DNV, 2012, *Recommended Practice. DNV-RP-C203*, Det Norske Veritas.

AISC – ASD, American Institute of Steel Construction (AISC), *Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design*, 13<sup>th</sup> Edition.

Soil Report. 2012. *Geotechnical Investigation Report for Foundation Assessment at UL-A Location, Offshore North West Java, Indonesia, Pertamina Hulu Energy (Offshore North West Java) Limited* . PT. Offshore Work Indonesia.

GRLWEAP General User's Manual, *Wave Equation Analysis of Pile Driving*, Goble, Rausche, Likins and Associates Inc. (2005).

Nelwan. *Et al*, 2015. *Analisis Kelelahan Struktur pada Tiang Pancang di Dermaga Belang Dengan Metode Fracture Mechanics*, *TEKNO*. Vol.13. No.63.

Offshore Technology Report, 2001. "*A Study Of Pile Fatigue During Driving And In-service And Of Pile Tip Intergrity* : United Kingdom.

## BIODATA PENULIS



Diyah Ayu Hanna Pratiwi lahir di Jombang, 25 Juli 1994 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan SD ditempuh di SD Negeri Murukan Mojoagung. Sedangkan SMP ditempuh di SMP Negeri 1 Mojoagung dan SMA ditempuh di SMA Negeri 1 Mojoagung. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikannya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama berkuliah, penulis pernah menjadi Bendahara Unit Kegiatan Mahasiswa Maritime Challenge tahun 2012-2013 dan menjadi Staff Divisi Logistik *Wooden Sailing Boat Project III-Baitasena* tahun 2013-2014. Pada tahun 2014, penulis mengikuti lomba *Atlantic Challenge International* di Vannes, perancis dan mendapatkan penghargaan *Spirit of Atlantic Challenge*

Pada tahun 2015, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. ZEE Indonesia, Tangerang Selatan selama dua bulan. Setelah itu pada awal tahun 2016, Penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (SI) dengan mengambil Bidang Keahlian Struktur Bangunan Lepas Pantai. Judul Tugas Akhir penulis, yaitu Analisa Kerusakan Kelelahan pada *Non-Uniform Pile* dari *UL-A Platform Akibat Pile Hammering*.

Kontak dengan penulis : [hannapратиwi94@gmail.com](mailto:hannapратиwi94@gmail.com)